



**SKRIPSI - ME141501**

**SIMULASI STABILITAS TEGANGAN PADA PEMBANGKIT  
LISTRIK *HYBRID* MENGGUNAKAN *WIND TURBINE*,  
*PHOTOVOLTAIC*, DAN *DIESEL ENGINE GENERATOR* DI  
KAPAL PENUMPANG *HYBRID* TRIMARAN**

Firman Aziz Nugroho  
NRP 04211340000018

Dosen Pembimbing :  
Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc.  
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**FINAL PROJECT – ME141501**

**VOLTAGE STABILITY SIMULATION AT HYBRID POWER  
GENERATION USING WIND TURBINE, PHOTOVOLTAIC,  
AND DIESEL ENGINE GENERATOR ON TRIMARAN  
HYBRID PASSENGER SHIP**

Firman Aziz Nugroho  
NRP 04211340000018

Advisors :  
Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc.  
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
Faculty Of Marine Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **LEMBAR PENGESAHAN**

# **SIMULASI STABILITAS TEGANGAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID MENGGUNAKAN WIND TURBINE, PHOTOVOLTAIC, DAN DIESEL ENGINE GENERATOR DI KAPAL PENUMPANG HYBRID TRIMARAN**

## **SKRIPSI**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**FIRMAN AZIZ NUGROHO**  
NRP. 04211340000018

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi :

1. Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc  
NIP. 197903272003121001

(  )

2. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc  
NIP. 196003191987011001

(  )

**SURABAYA**  
**JANUARI 2018**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

# **SIMULASI STABILITAS TEGANGAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID MENGGUNAKAN WIND TURBINE, PHOTOVOLTAIC, DAN DIESEL ENGINE GENERATOR DI KAPAL PENUMPANG HYBRID TRIMARAN**

## **SKRIPSI**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada


Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**FIRMAN AZIZ NUGROHO**  
NRP. 04211340000018

Disetujui oleh :

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT.  
NIP. 1977 0802 2008 01 1007

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



# **SIMULASI STABILITAS TEGANGAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID MENGGUNAKAN WIND TURBINE, PHOTOVOLTAIC, DAN DIESEL ENGINE GENERATOR DI KAPAL PENUMPANG HYBRID TRIMARAN**

**Nama Mahasiswa** : Firman Aziz Nugroho  
**NRP** : 04211340000018  
**Departemen** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Dosen Pembimbing** : 1. Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc.  
2. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc

## **Abstrak**

Penelitian untuk memanfaatkan energi terbarukan di dunia maritim mulai banyak dilakukan. Dua dari sekian banyak energi terbarukan yaitu energi angin dan energi matahari adalah salah satu energi yang dapat dioptimalkan penggunaannya sebagai pembangkit listrik di kapal. Penerapan sistem *hybrid* dapat menjadi pilihan penggunaan energi terbarukan di kapal. Sistem *hybrid* merupakan sebuah konsep dengan menggabungkan dua atau lebih sumber energi yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan beban sistem kelistrikan. Sistem *hybrid* yang dikombinasikan pada penelitian ini dari 3 jenis pembangkit yaitu *wind turbine*, *photovoltaic*, dan *diesel engine generator*. Dalam beberapa kurun waktu ke depan prospek pemanfaatan pembangkit listrik *hybrid* pada kapal akan sangat besar terutama kapal penumpang yang menjadi transportasi utama penghubung antar pulau. Sudah banyak penelitian mengenai pengaplikasian sistem *hybrid* pada kapal. Namun perlu diteliti lebih lanjut dari segi stabilitas tegangan pada sistem *hybrid*. Stabilitas tegangan adalah kemampuan suatu sistem kelistrikan dalam mempertahankan kestabilan tegangan saat sistem sedang beroperasi setelah terjadi gangguan yang menyebabkan kondisi transient. Standar suatu sistem dikatakan dalam kondisi transient yang wajar dilihat dari *recovery time* dan nilai toleransi tegangan saat kondisi transient yang diatur pada IEEE Standard 45. Terdapat 2 kesimpulan dari hasil tugas akhir ini. Pertama, hasil simulasi kondisi tegangan transient dikatakan memenuhi *recovery time* (2s) dan nilai toleransi tegangan transient nya ( $\pm 16\%$ ) sesuai standar IEEE Std 45-2002, 4,5 yaitu studi kasus 1a, 4a, 4b, dan 5b . Kedua, hasil simulasi nilai *user voltage tolerance* atau tegangan stabil setelah terjadi kondisi transient yang memenuhi sesuai standar IEEE Std 45-2002, 4,5 pada nilai  $\pm 5\%$  dari nilai tegangan nominal yaitu studi kasus 1a, 4a, 1b, 2b, dan 3b.

**Kata Kunci** : *Hybrid, Kapal Penumpang, Pembangkit Listrik, Stabilitas Tegangan*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **VOLTAGE STABILITY SIMULATION AT HYBRID POWER GENERATION USING WIND TURBINE, PHOTOVOLTAIC, AND DIESEL ENGINE GENERATOR ON TRIMARAN HYBRID PASSENGER SHIP**

**Name** : Firman Aziz Nugroho  
**NRP** : 04211340000018  
**Departement** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Advisor** : 1. Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc.  
2. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc

## ***Abstrack***

Research to utilize renewable energy in the maritime world began a lot to do. Two kind of renewable energies there are wind energy and solar energy is one of the energies that can be optimized its use as a power generation on board. Implementation of hybrid system can be the best choice of renewable energy usage in ships. Hybrid system is a concept by combining two or more different energy sources to supply the requirement of electrical system loads. The hybrid system in this research is combined from 3 types power generation. There are wind turbine, photovoltaic, and diesel engine generator. In the next few years the prospect of utilization of hybrid power generation on ships will be very large, especially for passenger ships that become the main transport inter-island liaison. There have been many studies on the application of hybrid systems in ships. However, it needs a research for further in terms of voltage stability on hybrid systems. Voltage stability is the ability of an electrical system for maintaining the stability of the pressure when the system is operating after a disturbance that causes transient conditions. Standard of a system is said that a reasonable transient condition can be seen from recovery time and voltage tolerance when transient condition and regulated in IEEE standard 45. There are two conclusions from the results of this research. First, the simulation results of transient voltage conditions are said to meet the recovery time (2s) and voltage transient tolerance values ( $\pm 16\%$ ) according from standard IEEE Std 45-2002, 4,5, there are case studies 1a, 4a, 4b, and 5b. Second, the simulation results of user voltage tolerance or stable voltage after transient conditions that meet the standards IEEE Std 45-2002, 4,5, at  $\pm 5\%$  of the nominal voltage values are case studies 1a, 4a, 1b, 2b, and 3b.

***Keyword*** : Hybrid, Passenger Ship, Power Generation, Voltage Stability

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanallahu wa Ta'ala, yang selalu memberikan kesehatan dan melimpahkan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir dengan judul "*Simulasi Stabilitas Tegangan Pada Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Wind Turbine, Photovoltaic, dan Diesel Engine Generator di Kapal Penumpang Hybrid Trimaran*". Tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu persyaratan kelulusan program sarjana strata 1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis telah mendapatkan bantuan, semangat, dan doa dari berbagai pihak. Untuk itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak Fiansul (Papa) dan Ibu Warareni (Mama). Serta adik-adik saya Arsyi, Hayyu, dan Syifa yang selalu mendoakan dan selalu memberikan dukungan dan semangat tanpa kenal lelah disetiap kondisi penulis.
2. Bapak Dr.Eng Muhammad Badrus Zaman, S.T, M.T selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. Bapak Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc. dan Bapak Ir.Sardono Sarwito, M.Sc selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir saya yang telah memberi ilmu serta motivasi selama proses pengerjaan.
4. Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc. selaku dosen wali saya yang tiada henti memberi petunjuk, amanah, dan nasehat dari pembelajaran hidup yang dialami layaknya orang tua sendiri selama 4 setengah tahun ini sehingga dapat menyelesaikan semua perkuliahan dengan baik.
5. Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah mengajarkan banyak ilmu dan menceritakan pengalamannya yang luar biasa selama penulis menempuh pendidikan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
6. Seluruh Civitas Akademik yang telah sabar dalam mengurus hal administratif penulis selama berkuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
7. Seluruh grader dan teman-teman, serta bapak Agus dan Bapak Heru sebagai teknisi di Laboratorium *Marine Electrical and Autonomatical Sistem*.
8. Teman-teman Barakuda'13 yang menjadi teman-teman seperjuangan dari tahun pertama masuk kuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan menghadapi lika-liku perkuliahan dan kaderisasi. Dan selalu memberi dukungan dan doanya disetiap hari perkuliahan.
9. Sahabat-sahabat saya Wasis, Ivan, Zaki, Miftah, dan keluarga Kunam Ranger (Igfar, Eki, Rizal, Kresna), yang selalu menemani dan memberi support secara langsung kepada penulis dikala suka dan duka selama berkuliah di ITS ini.
10. Sahabat saya semenjak di Bogor Juli, Bunga, dan keluarga Asnack (Gidry, Dary, Fajar, Adrizal, Aldi) yang selalu memberi semangat walau jarak yang terpisah cukup jauh.
11. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini belum mencapai kata sempurna dan terdapat banyak kekurangan. Oleh sebab itu saran dan kritik yang membangun bagi penulis sangat membantu agar pada penelitian berikutnya dapat lebih baik. Akhir kata, semoga tulisan tugas akhir ini dapat memberikan inspirasi dan manfaat bagi teman-teman mahasiswa, pembaca, dan bangsa Indonesia.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
Abstrak .....	v
<i>Abstrack</i> .....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Perumusan Masalah.....	2
I.3 Batasan Masalah.....	2
I.4 Tujuan Tugas Akhir .....	2
I.5 Manfaat Tugas Akhir.....	3
BAB II .....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1 Sistem Kelistrikan Kapal .....	5
II.2 Sistem Pembangkit Listrik Diesel Generator .....	6
II.2.1 Macam Kondisi Operasional Kapal.....	7
II.2.2 Load Faktor Setiap Peralatan.....	9
II.2.3 Diversity Faktor.....	11
II.3 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Sel Surya ( <i>Photovoltaic</i> ).....	12
II.3.1 Jenis-Jenis Panel Surya .....	13
II.3.2 Cara Kerja Panel Surya .....	16
II.3.3 Perhitungan Kapasitas Panel Surya .....	17
II.3.4 Komponen Panel Surya .....	17
II.4 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin ( <i>Wind Turbine</i> ).....	18
II.4.1 Jenis Turbin Angin .....	18
II.4.2 Cara Kerja Turbin Angin.....	19

II.4.3 Perhitungan Kapasitas Turbin Angin .....	20
II.4.4 Komponen Turbin Angin .....	22
II.5 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid .....	22
II.6 Stabilitas Sistem Tenaga Listrik .....	23
II.6.1 Stabilitas Tegangan .....	24
II.6.2 Stabilitas Frekuensi .....	24
II.6.3 Stabilitas Sudut Rotor.....	24
II.7 Definisi Kondisi Transien .....	24
II.8 Standar Kestabilan Tegangan.....	28
II.8.1 Standar BKI Volume IV .....	28
II.8.2 Standar IEEE <i>Standard</i> 45 .....	28
BAB III.....	31
METODOLOGI PENELITIAN .....	31
III.1 Perumusan Masalah.....	32
III.2 Studi Literatur.....	32
III.3 Pengumpulan Data.....	32
III.4 Penggambaran <i>Single line Diagram</i> dan Simulasi <i>Load Flow</i> .....	33
III.5 Simulasi Stabilitas Tegangan.....	33
III.6 Analisa Data dan Pembahasan.....	33
BAB IV .....	35
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....	35
IV.1 Gambaran Umum .....	35
IV.2 Data Kapal .....	35
IV.3 Analisis Perhitungan <i>Electrical Load</i> .....	37
IV.4 Analisis Pemilihan Generator.....	39
IV.5 Penentuan Panel Surya ( <i>Photovoltaic</i> ) .....	40
IV.6 Penentuan Turbin Angin ( <i>Wind Turbine</i> ).....	42
IV.6.1 Perhitungan Turbin Angin .....	42
IV.6.2. Peletakan Turbin Angin di Kapal <i>Hybrid Trimaran</i> .....	43
IV.7 Penggambaran <i>Single Line Diagram</i> Pada <i>Software Transient Analysis</i> .....	45
IV.8 Perencanaan Studi Kasus Kapal Trimaran <i>General Cargo Passenger Ship</i> .....	47
IV.9 Analisis Hasil Simulasi Stabilitas Tegangan .....	49
IV.9.1. Simulasi Variasi Penggunaan Pembangkit Listrik Hybrid di Kapal .....	49



IV.9.2. Simulasi Perubahan Mendadak Pada Pembangkit Listrik Hybrid di Kapal .....	53
IV.9.3 Hasil Simulasi Stabilitas Tegangan .....	58
BAB V .....	61
KESIMPULAN DAN SARAN .....	61
V.1 Kesimpulan .....	61
V.2 Saran .....	61
DAFTAR PUSTAKA .....	63
LAMPIRAN .....	65
BIOGRAFI PENULIS .....	107

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diesel Generator .....	7
Gambar 2.2 Jenis Polikristal.....	13
Gambar 2.3 Jenis Monokristal.....	14
Gambar 2.4 Jenis Silikon Amorf.....	14
Gambar 2.5 Jenis <i>Galium Arsenite</i> .....	15
Gambar 2.6 Junction Semikonduktor tipe N dan tipe P .....	16
Gambar 2.7 Cara kerja sel surya pada prinsip P-N junction .....	17
Gambar 2.8 Turbin Angin Sumbu Horizontal (Atas), dan Sumbu Vertikal (Bawah) ....	19
Gambar 2.9 Komponen <i>Wind Turbine</i> .....	22
Gambar 2.10 Wind Turbine on Solar Cell.....	23
Gambar 2.11 Aplikasi Sistem Hybrid di Kapal.....	23
Gambar 2.12 Perilaku generator saat terjadi gangguan.....	26
Gambar 2.13 Klasifikasi stabilitas sistem tenaga listrik.....	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 4.1 <i>General Arrangement</i> Trimaran <i>Cargo Passenger Ship</i> .....	36
Gambar 4.2 <i>Miniatur</i> Kapal Penumpang <i>Hybrid</i> Trimaran .....	37
Gambar 4.3 Penempatan Panel Surya di Navigation Deck .....	41
Gambar 4.4 Tampak Depan Kapal <i>Hybrid</i> Trimaran.....	44
Gambar 4.5 Tampak Atas <i>Navigation Deck</i> .....	44
Gambar 4.6 Tampak Atas <i>Main Deck</i> .....	45
Gambar 4.7 Tampak Samping Kapal <i>Hybrid</i> Trimaran .....	45
Gambar 4.8 <i>Single Line Diagram</i> dan hasil simulasi <i>load flow</i> .....	46
Gambar 4.9 Panel Surya Beroperasi Sendiri .....	49
Gambar 4.10 Generator dan Panel Surya Beroperasi Bersama .....	50
Gambar 4.11 Panel Surya dan Turbin Angin Beroperasi Bersama .....	51
Gambar 4.12 Generator dan Turbin Angin Beroperasi Bersama .....	52
Gambar 4.13 Generator, Turbin Angin, dan Panel Surya Beroperasi Bersama .....	52
Gambar 4.14 Panel Surya Operasi. Panel Surya <i>open</i> dan Generator <i>close</i> pada " <i>Bus Gen PV WT</i> " .....	53
Gambar 4.15 Generator operasi. Generator open dan Panel Surya close pada " <i>Bus Gen PV WT</i> " .....	54
Gambar 4.16 Panel Surya dan turbin Angin operasi setelah itu open, Generator close pada " <i>Bus Gen PV WT</i> " .....	55
Gambar 4.17 Generator dan Turbin Angin Operasi. Generator open, Panel Surya close pada " <i>Bus Gen PV WT</i> " .....	56
Gambar 4.18 Generator dan Panel Surya Operasi. Generator open, Turbin Angin close pada " <i>Bus Gen PV WT</i> " .....	57
Gambar 4.19 Generator Operasi. Generator open, Turbin Angin dan Panel Surya close pada " <i>Bus Gen PV WT</i> " .....	58

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Definition of Continous Load and Load Factor (1).....	10
Tabel 2.2 Definition of Continous Load and Load Factor (2).....	11
Tabel 2.3 Perbandingan 4 Jenis Panel Surya.....	15
Tabel 2.4 Nilai <i>friction coefficient</i> $\alpha$ .....	20
Tabel 2.5 Standar variasi tegangan dan frekuensi sistem distribusi AC .....	28
Tabel 2.6 Standar variasi tegangan sistem distribusi DC .....	28
Tabel 2.7 IEEE Std 45-2002, 4,5.....	29
Tabel 4.1 Data Kapal.....	35
Tabel 4.2 Daftar Beban Listrik Pada Kapal Trimaran.....	37
Tabel 4.3 Daftar Peralatan Listrik Pada Kapal Trimaran (1) .....	38
Tabel 4.4 Daftar Peralatan Listrik Pada Kapal Trimaran (2) .....	39
Tabel 4.5 Kebutuhan Beban Listrik Kapal Trimaran .....	39
Tabel 4.6 Generator Terpilih Kohler KD 110 .....	40
Tabel 4.7 5 Pilihan Panel Surya .....	40
Tabel 4.8 Panel Surya Terpilih.....	41
Tabel 4.9 Spesifikasi Turbin Angin .....	42
Tabel 4.10 Studi Kasus Penggunaan Pembangkit Listrik <i>Hybrid</i> .....	47
Tabel 4.11 Studi Kasus Perubahan Mendadak Pembangkit Listrik <i>Hybrid</i> .....	48
Tabel 4.12 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Standar pada Kondisi Tegangan Transient .....	51
Tabel 4.13 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Standar Tegangan stabil Setelah Kondisi Transient .....	51

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Sistem *hybrid* merupakan konsep penggabungan dua atau lebih sumber energi yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan beban yang ada. Salah satu sistem pembangkit listrik *hybrid* yang berpotensi untuk dikembangkan di kapal yang beroperasi di Indonesia adalah kombinasi antara *wind turbine*, *photovoltaic*, dan *diesel engine generator*. Mendukung program *eco friendly* sudah dicanangkan oleh banyak pihak, terutama di Indonesia. Hal ini dikarenakan potensi pemanfaatan angin di Indonesia dalam proses *renewable energi* sangatlah besar. Hasil penelitian menunjukkan dari proses perhitungan kecepatan rata-rata angin di setiap provinsi di Indonesia didapatkan bahwa sebagian besar wilayah di Indonesia memiliki kecepatan angin rata-rata antara 3m/s hingga 5 m/s, dan menghasilkan energi spesifik hingga mencapai 321 kW.hr/m<sup>2</sup>. (Rachman, 2012). Sedangkan dilihat dari website BMKG pada perairan Indonesia rata-rata kecepatan angin diperairan Indonesia diantara 5-30 Knots tergantung cuaca di setiap daerahnya. (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, 2017). Untuk rata-rata kecepatan angin di Indonesia ini menurut Skala Beauford (Stewart, 2008) tergolong kategori angin pelan hingga angin sedang. Cukup untuk menghasilkan energi listrik. (Aji & Cahyadi, 2015). Lalu sistem pembangkit listrik *Hybrid* ini juga memanfaatkan *photovoltaic* yang dimana memanfaatkan energi matahari sebagai sumber penghasil listrik yang cukup menjanjikan. Karena letak geografis dari Indonesia yang berada pada daerah khatulistiwa. Oleh sebab itu wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10-12 jam dalam sehari. Potensi sumber energi matahari di Indonesia mencapai rata-rata 4,5 kWh per meter persegi per hari, matahari bersinar berkisar 2000 jam per tahun, sehingga Indonesia tergolong kaya sumber energi matahari. (Kementrian ESDM, 2010)

Permasalahan utama yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah dalam pembangkitan listrik di kapal, kestabilan tegangan merupakan hal yang sangat diperhatikan karena dapat mempengaruhi sistem kelistrikan kapal terutama kepada peralatan-peralatan di kapal. Ketidakstabilan tegangan akan menyebabkan ketidakstabilan pada sistem kelistrikan secara keseluruhan, terutama kualitas dan kemampuan distribusi daya listrik untuk beroperasinya peralatan-peralatan listrik pada sebuah kapal. Kondisi terparah permasalahan stabilitas tegangan terjadi apabila terjadi gangguan pada sistem kelistrikan di kapal. Gangguan tersebut dapat bermacam-macam seperti pelepasan beban secara mendadak, gangguan pada salah satu *bus*, atau bisa disebabkan karena terjadinya perubahan mendadak pada sistem pembangkit listrik yang digunakan di kapal. Oleh sebab itu perlu diketahui bagaimana jika sistem pembangkit listrik *hybrid* ini digunakan di kapal, apakah akan terjadi gangguan yang menyebabkan ketidakstabilan tegangan. Lalu apakah kondisi transient khususnya pada nilai tegangan dari variasi penggunaan pembangkit listrik *hybrid* masih dalam batas wajar sesuai standar IEEE *Standard 45* yang membahas tentang *A Guide to Electrical Installations on Shipboard*. Bentuk pengujian yang dilakukan pada tugas akhir ini dengan merangkai rangkaian *single line diagram* pada salah satu *software transient*, dan menjalankan simulasi analisis transient dengan focus pada kestabilan tegangan.

Objek skripsi ini adalah kapal penumpang trimaran yang mengangkut perjalanan antar pulau yang memanfaatkan sistem *Hybrid*. Pada awalnya kapal trimaran ini telah

menggunakan *photovoltaic* sebagai salah satu sumber listriknya. Namun pada tugas akhir ini diuji coba dengan menambahkan *Wind Turbine* pada kapal trimaran ini. Pada umumnya pengoperasian 3 sumber pembangkit listrik pada kapal sudah banyak direncanakan untuk dibuat. Dari beberapa hasil penelitian sistem *hybrid* dapat lebih irit bahan bakar, ramah lingkungan, dan memiliki performa kelistrikan yang lebih baik dari pembangkit listrik konvensional, namun belum diketahui bagaimana kondisi stabilitas tegangan dari kapal *hybrid* trimaran yang menjadi objek tugas akhir ini apabila 3 sumber pembangkit listrik ini dioperasikan pada sistem kelistrikan kapal. Pada beberapa kasus *Hybrid Distributed Generation* (HDG) pada *power sistem* di kapal memiliki sumber energi stochastic yang menyebabkan kontribusi arus lebih dan dapat menyebabkan sistem rentan yang menyebabkan ketidakstabilan. Hal ini yang menjadi perhatian pada kinerja dinamis dari pembangkit listrik *hybrid* jika dimodelkan kondisi pengoperasian pada kapal penumpang *hybrid* trimaran.

## I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang maka rumusan masalah yang akan di bahas pada penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Bagaimana desain dan model sistem kelistrikan pada kapal *hybrid* trimaran?
2. Bagaimana pembagian beban kelistrikan pada sistem kelistrikan *hybrid*?
3. Bagaimana kondisi stabilitas tegangan jika menggunakan 3 sumber pembangkit listrik pada kapal *hybrid* trimaran?

## I.3 Batasan Masalah

1. Penelitian ini berdasarkan data kapal dan komponen hasil tugas akhir “Perencanaan Kapal Penumpang Barang Tipe Trimaran Untuk Pelayaran Antar Pulau : Studi Kasus Pelayaran Kalianget-Kangean-Sapekenmasalembu”
2. Penelitian ini tidak menghitung detail perhitungan serta perencanaan *wind turbine* dan *photovoltaic*.
3. Penelitian ini difokuskan untuk menganalisa karakteristik stabilitas tegangan dari output *wind turbine*, *photovoltaic*, dan *diesel generator* pada *single-line diagram* yang dimodelkan di *software* analisis transient.

## I.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini yaitu :

1. Mengetahui desain sistem pembangkit listrik *hybrid* di kapal menggunakan *Software* analisis transient.
2. Mengidentifikasi kondisi stabilitas tegangan pada sistem pelistrikan di kapal *hybrid* trimaran.
3. Menganalisa hasil simulasi nilai stabilitas tegangan yang dihasilkan dari penggunaan komponen *wind turbine*, *photovoltaic*, dan *diesel engine generator* saat digunakan untuk menyalurkan daya listrik di kapal *hybrid* trimaran.



### **I.5 Manfaat Tugas Akhir**

Adapun manfaat dari penulisan skripsi ini secara umum adalah :

1. Dapat mengembangkan ilmu pengetahuan terutama di bidang pembangkit listrik *hybrid* menunjang program *ecoship* yang sedang dicanangkan.
2. Dapat mengamati dan mengetahui kondisi kestabilan pada sistem kelistrikan *single-line diagram* di kapal trimaran *hybrid*.
3. Mendorong pemanfaatan potensi energi angin dan energi matahari pada kapal – kapal penumpang yang beroperasi di Indonesia.
4. Sebagai pendorong untuk penelitian – penelitian selanjutnya mengenai penggunaan pembangkit listrik *hybrid* di kapal dan mengatasi permasalahan yang masih ada.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Sistem Kelistrikan Kapal**

Sistem kelistrikan kapal adalah sebuah sistem yang bekerja didalam suatu instalasi listrik kapal. Dapat diperjelas lagi bahwa instalasi listrik kapal merupakan salah satu sistem kerja pada kapal yang menghantarkan energi listrik yang kegunaannya untuk keberlangsungan kinerja dari operasional suatu kapal. Tanpa adanya sistem kelistrikan di kapal, kapal tidak akan dapat beroperasi untuk kegiatan operasional. Karena pada hakikatnya listrik adalah kebutuhan utama dalam menjalankan kegiatan operasional di kapal. Tanpa adanya listrik tentunya komponen-komponen seperti motor, pompa, alat elektronik, alat navigasi, dan komponen lain yang membutuhkan listrik, tidak akan dapat beroperasi. Sistem kelistrikan di kapal dapat dimulai dari unit pembangkit listrik yaitu diesel generator yang selanjutnya akan melalui berbagai macam komponen sistem distribusi untuk penyuplai daya listrik.

Perancangan instalasi listrik kapal ini berdasarkan pada persyaratan atau ketentuan yang berlaku untuk sistem di kapal. Berbeda dengan sistem kelistrikan yang biasa ditemukan di daratan. Di kapal didapatkan suplai listrik dari diesel generator pada umumnya. Jika sistem kelistrikan di darat sangat bergantung dengan distribusi listrik yang di suplai oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Sistem kelistrikan di kapal sangat tergantung dengan sistem pembangkit listrik yang terdapat pada kapal tersebut. Dan hal tersebut menjadi sangat krusial kebradaan dan fungsinya dalam pengoperasian kapal apapun. Oleh sebab itu pemilihan sistem pembangkit listrik kapal dilakukan perhitungan yang sesuai dengan kebutuhan. Hal tersebut harus melewati beberapa tahap sampai akhirnya ditemukan tipe sistem pembangkit listrik yang cocok dipasang di kapal tersebut. Tahap tersebut antara lain perhitungan daya yang dibutuhkan di atas kapal, penentuan tipe dan ukuran yang sesuai dengan kondisi ruang yang akan ditempati. Secara umum diesel generator adalah pembangkit listrik yang di gunakan di kapal hingga saat ini.

Pada sistem kelistrikan di kapal pada umumnya menggunakan minimal 2 diesel generator. Karena dalam pengoperasiannya dalam keadaan beban penuh dapat digunakan seluruh generator yang ada. Namun ketika dalam kondisi beban biasa maka penggunaan generator dapat dilakukan secara bergantian agar nilai keandalan dari generator dapat terjaga dengan baik. Jumlah generator dapat ditentukan dengan menghitung jumlah kebutuhan daya dari semua komponen listrik yang ada di kapal. Untuk mengetahui besar atau jumlah daya yang dibutuhkan (menentukan daya generator) yang ada di kapal, harus ditentukan terlebih dahulu daya yang akan dipakai oleh lampu-lampu untuk penerangan, dan peralatan-peralatan listrik (motor-motor listrik) (Sarwito, 1995). Dari perhitungan tersebut didapatkan berapa generator yang dibutuhkan dengan daya yang sesuai dengan kebutuhan daya pada kapal.

Dalam sebuah kapal diharuskan memiliki *emergency generator* atau *battery*. Fungsinya adalah untuk menyuplai daya listrik ketika generator utama mengalami kerusakan. Hal ini untuk menghindari kapal dalam kondisi *blackout*. Daya listrik keluaran dari *emergency generator* ini biasanya akan dipusatkan menuju ke satu *Main Switch Board* (MSB). *Emergency switchboard* dan sistem *emergency distribution* daya terhubung dengan *bus tie* dari *switchboard* di kapal. Apabila sistem distribusi daya di kapal mengalami kegagalan atau gangguan, sistem *emergency distribution* akan secara

otomatis berpindah dari pelayanan normal ke pelayanan dengan menggunakan *battery*. Sistem yang digunakan agar distribusi berpindah secara otomatis ke *battery* dengan menggunakan prinsip kerja *acos*. *Battery* di kapal dipergunakan untuk menyuplai kebutuhan operasional yang tidak boleh mati saat kapal beroperasi seperti sistem navigasi, sistem komunikasi, dan lampu-lampu darurat. Saat terjadi *blackout* dan distribusi daya menggunakan *battery*, awak kapal segera mempersiapkan *emergency generator* untuk menggantikan peran *battery*. Dan saat penggunaan *emergency generator* saat itu juga awak kapal mereparasi generator utama yang bermasalah. Terdapat bermacam desain untuk distribusi daya pada sistem kelistrikan di kapal tergantung tipe kapalnya.

## II.2 Sistem Pembangkit Listrik Diesel Generator

Generator merupakan suatu peralatan yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, kebanyakan generator digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik. Energi mekanik yang diperoleh dari generator dapat berasal dari motor bakar diesel. Fungsi utama generator di atas kapal adalah untuk menyuplai kebutuhan daya listrik di kapal. Daya listrik digunakan untuk menyuplai sistem penerangan, alat navigasi, alat komunikasi, sistem ventilasi udara, motor-motor listrik, dan alat-alat lain yang membutuhkan adanya suplai listrik agar dapat beroperasi.

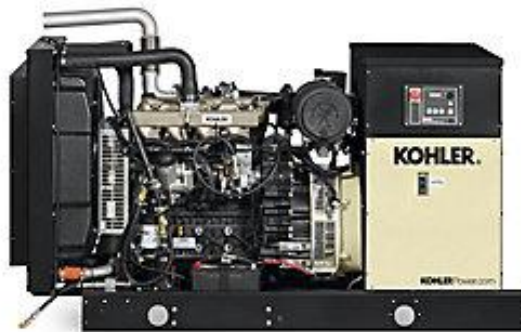
Prinsip kerja generator adalah dengan menggunakan rotor untuk memotong medan magnet yang dihasilkan oleh besi feromagnetik yang dialiri listrik. Untuk membuat besi feromagnetik menjadi magnet, dibutuhkan arus eksitasi atau arus pembangkit atau dapat dikatakan rotor diputar maka belitan kawatnya akan memotong gaya-gaya magnet pada kutub-kutub magnetnya sehingga menimbulkan perbedaan tegangan dan menghasilkan arus listrik. Generator termasuk dalam alat bantu yang ada di kapal. Namun keberadaannya sangat vital dalam pengoperasian suatu kapal. Karena generator berfungsi memenuhi kebutuhan listrik yang ada di kapal. Tanpa adanya generator tidak akan ada suplai listrik di kapal. Perencanaan dari generator sendiri perlu diperhatikan kebutuhan maksimum dan minimum daya rata-ratanya pada rentang waktu tertentu sesuai periode kerja dari peralatan yang beroperasi.

Generator kapal sebagai alat bantu di kapal mempunyai tugas penting yaitu untuk memenuhi kebutuhan listrik dan menyuplai listrik di atas kapal. Keberadaannya sangat penting di kapal. Dalam penentuan berapa buah dan berapa besar kapasitas generator kapal yang akan digunakan untuk melayani kebutuhan listrik di atas kapal maka analisa kebutuhan beban listrik perlu dilakukan perhitungan agar dapat menentukan jumlah daya yang dibutuhkan.

Perhitungan kebutuhan listrik cadangan di kapal harus dilakukan perhitungan juga untuk *backup* kebutuhan daya listrik kapal jika terjadi gangguan *starting motor* dan terjadi beban maksimal pada periode singkat. Berdasarkan regulasi BKI (2016) mengatur bahwa daya yang dihasilkan dari diesel generator kapal diperlukan untuk pelayanan serta operasional kapal dilaut kurang lebih 15% lebih tinggi daripada kebutuhan daya listrik kapal yang telah diperhitungkan. Untuk menentukan kapasitas generator di kapal digunakan suatu tabel balans daya (*load factor*) yang dimana seluruh peralatan listrik di kapal, yang ada kapasitas atau serta dayanya tertera dalam tabel tersebut.

Sehingga dengan seimbangnya daya dapat diketahui daya listrik yang diperlukan untuk masing – masing kondisi operasional kapal. Dalam penentuan *electric balance*, BKI (2016) memamparkan bahwa :

1. Seluruh perlengkapan pemakaian daya yang secara tetap diperlukan untuk memelihara pelayanan normal harus diperhitungkan dengan daya kerja penuh.
2. Beban terhubung dari seluruh perlengkapan cadangan harus tertera. Dalam hal perlengkapan pemakaian daya nyata yang hanya bekerja bila suatu perlengkapan tersebut rusak, kebutuhan dayanya tidak perlu dimasukkan dalam perhitungan.
3. Daya masuk total harus ditentukan, dari seluruh pemakaian daya yang hanya untuk sementara dimasukkan, dikalikan dengan suatu faktor kesamaan waktu bersama (common simultancity factor) dan ditambahkan kepada daya masuk total dari seluruh perlengkapan pemakaian daya yang terhubung tetap. Daya masuk total sebagaimana telah ditentukan sesuai 1 dan 3
4. Maupun daya yang diperlukan untuk instalasi pendingin yang mungkin ada, harus dipakai sebagai dasar dalam pemberian ukuran instalasi generator kapal.



Gambar 2. 1 Diesel Generator  
(Sumber : [www.powerkohler.com](http://www.powerkohler.com))

Sarwito (1995) mengatakan terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan kapasitas generator di kapal yaitu :

1. Macam kondisi operasional kapal
2. Load Faktor setiap peralatan
3. Diversity factor

## II.2.1 Macam Kondisi Operasional Kapal

Pengelompokkan berdasarkan aktifitas kapal diatas bertujuan untuk memudahkan dalam penentuan faktor beban masing-masing peralatan, karena tidak semua peralatan listrik pada kapal dioperasikan secara kontinyu. Sehingga menurut Sarwito (1995) dalam perhitungan penentuan generator mempunyai beberapa pandangan untuk menentukan kondisi operasional kapal seperti :

- Dua Kondisi : berlayar dan berlabuh.

- Empat kondisi : berlayar, meninggalkan pelabuhan, bongkar muat, dan di pelabuhan.
- Delapan kondisi: berlayar, meninggalkan pelabuhan, bongkar muat, dan di pelabuhan yang semuanya dalam kondisi siang dan malam.

Menurut BKI pada kondisi berlayar yang digunakan sebagai pedoman dalam menentukan kapasitas generator karena merupakan kondisi yang paling lama dilakukan. Kecuali untuk kapal khusus misalnya kapal keruk, karena kondisi terlamanya adalah saat mengadakan pengerukan. Lalu Ketika bongkar muat dilaksanakan, kebutuhan listrik digunakan untuk mengoperasikan peralatan bongkar muat serta peralatan penunjangnya. Disamping itu pada kondisi ini juga digunakan untuk mereparasi peralatan. Peralatan tersebut diantaranya adalah : cargo gear, turning gear, ballast pump, mesian bubut, mesin gerinda, mesin bor dan lain sebagainya. Kondisi ini berlaku untuk kapal cargo sedangkan untuk jenis lainnya akan berbeda pekerjaan yang dilakukan misalnya tug work untuk kapal tunda. Pada saat berlabuh di pelabuhan kebutuhan listrik menggunakan pelayanan sewa listrik dari pihak pelabuhan karena pertimbangan biaya yang lebih murah dari pada pengoperasian generator.

Dari pandangan tersebut dapat dilakukan analisa perhitungan beban listrik (*electric load factor*) yang berupa tabel dan bias disebut juga sebagai kalkulasi keseimbangan beban listrik (*calculation of electric power balance*) pada kapal sesuai dari kondisinya. Dengan mengetahui hasil kalkulasi keseimbangan beban listrik tersebut dapat ditentukan generator yang sesuai untuk digunakan secara operasional pada kapal. Pengelompokan ini juga biasanya berupa kelompok mesin daya, penerangan dan peralatan komunikasi/navigasi. Untuk kapal khusus dengan instalasi pendingin yang dikelaskan juga untuk peti kemas dengan pendingin maka diperlukan juga perhitungan kebutuhan daya beban pendingin tersebut pada analisa beban listrik.

Kebutuhan maksimum beban listrik juga penting diketahui untuk menentukan kapasitas generator yang diperlukan agar generator dapat menyuplai kebutuhan listrik maksimal di kapal. Sedangkan kebutuhan minimum digunakan untuk menentukan konfigurasi dari sistem pembangkit listrik yang sesuai serta untuk menentukan kapan generator yang di operasikan. Sarwito (1995) mengatakan terdapat tiga kelompok beban di kapal yang harus dilayani oleh generator berdasarkan fungsinya masing-masing :

- Beban pada geladak lambung (*hull part*)
- Beban yang berupa motor-motor listrik pesawat tenaga dalam sistem permesinan kapal (*machinery part*)
- Beban berupa elektronika, penerangan, peralatan komunikasi, dan sistem navigasi yang menunjang sistem permesinan kapal (*electrical load*)

Pengelompokan ini biasanya berupa kelompok mesin daya, penerangan dan peralatan komunikasi/navigasi. Untuk kapal khusus dengan instalasi pendingin yang dikelaskan juga untuk peti kemas dengan pendingin maka diperlukan juga perhitungan kebutuhan daya beban pendingin tersebut pada analisa beban listrik. (Sarwito, 1995)

### **II.2.2 Load Faktor Setiap Peralatan**

Load faktor peralatan adalah perbandingan antara daya rata-rata dengan kebutuhan daya untuk operasi maksimal untuk suatu kondisi. Sesudah diadakan pengelompokan, kemudian dari data yang ada diisikan jumlah peralatan, daya masuk, kemudian saat pengoperasian peralatan tersebut juga banyaknya peralatan yang akan dioperasikan mengingat adanya peralatan cadangan. Prosentase faktor beban diisikan pada tiap kondisi operasi dan besarnya tergantung pada seringnya peralatan tersebut dipakai, besarnya pemakaian daya dari peralatan tersebut terhadap daya nominal dan berdasarkan pada pengalaman perancangan sebelumnya. Untuk peralatan yang jarang digunakan dapat diberikan faktor beban nol untuk semua kondisi. Sedangkan peralatan yang beroperasi secara kontinyu dalam pengoperasian kapal mendapatkan beban tetap atau continuous load. Dan untuk peralatan dengan beban sementara atau intermitten adalah beban dari peralatan yang beroperasi tidak secara terus menerus. Setelah semua data dimasukkan menurut masing-masing kelompok, kemudian beban dijumlahkan, beban tetap dan beban sementara.

Untuk load factor setiap peralatan di kapal telah dicantumkan pada table dari buku diktat perencanaan instalasi listrik kapal oleh (Sarwito, 1995). Tabel tersebut seperti dibawah ini :

Tabel 2. 1 Definition of Continous Load and Load Factor (1)

Kind of Auxiliary Machinery		Load Factor $f_o$			Remarks
		Normally at sea	Arrival & Departure	Cargo Handling	
Auxiliary Machinery for diesel ships	Cooling freshwater pumps	85	85		
	Cooling sea water pumps	85	85		
	Lubricating oil pumps	65	65		
	Fuel valve cooling freshwater pumps	85	85		
	Fuel valve cooling oil pumps	70	70		
	Grade-C heavy oil purifiers and pumps	65			
	Fuel oil clarifiers and pumps	65			
	Booster pumps	65	65		
	Aux. Boiler use	Feed water pumps	85	85	
		Fuel oil burning pumps	65	85	
		Forced draft fans	85	85	
	Exhaust gas boiler circulating water pump	85			
	Air compressor		85		
	Generator cooling water pumps			85	
Aux. Machinery commonly used for diesel and turbine ships	Freshwater pumps	85	85	85	
	Sanitary pumps	85	85	85	
	Ventilating fans	85	85	85	
	Pumps fitted on distilling plant	85			
Deck Machinery	Winches			30 ~ 40	To be considered according to the number installed and
	Cargo oil pumps			30	
	Steering gear	20	20		
	Accommodation space	Fans	80	50	
		Electric heaters	80	50	
		Air conditioning equipment	80	50	
	Electric fans	80	80	50	
	Pumps room ventilating fans			80	
	Cargo hold ventilating fans	60 ~ 80	60 ~ 80		Not include fans for cargo hold desiccator
	Hot water circulating fans	80	80	80	
	Refrigerator	For provision	80 *	60	* mark to be calculated by adding installation number
		For cargo	80 *	80 *	- ditto -
	Inert gas fans for cargo oil	70	70	85 *	
	LPG re-liquefying compressor	90	90	90	
	LPG cargo pump				
	Inert gas generator for LPG	80			
Others	Refrigerated container	45 ~ 65	45 ~ 65	45 ~ 65	
	Cargo lamps	Fixed	100	100	
		Portable		80	
	Projectors			80	
	Funnel Lights		100	100	
	Lighting	Accommodation	80	70	
		Engine room	100	100	Not include hand lamps.
		Navigation lights	100		
	Motor generator	70	70	70	
	Gyro-compass	80	80		
	Radar		100		
Auxiliary Machinery for turbin ships	Main circulating pump	75 ~ 90	75 ~ 90		
	Generator circulating pumps	80 ~ 90	80 ~ 90	80 ~ 90	
	Main feed pumps	Cargo ship	65 ~ 70	50 ~ 60	
		Tanker	75 ~ 80	50 ~ 60	
	Auxiliary feed pumps				Continuous load only during cargo handling. Load factor is to be determined according to actual operating conditions
	Main condensate pumps	65 ~ 75	50 ~ 60		
	Auxiliary condensate pumps				When the main condensate pumps are not used for generator condensate transfer. Load factor is to be determined according to actual operating conditions
	Lubricating oil pumps	60 ~ 70	60 ~ 70		
	Fuel oil burning pumps	70 ~ 80	75 ~ 85	75 ~ 85	



Tabel 2. 2Definition of Continous Load and Load Factor (2)

Auxiliary Machinery for turbin ships (cont'd)	Forced draft fans	When speed and vane control	A	Cargo ship	55 ~ 65	50 ~ 60		Lower values for sirocco type and high values for turbo-vane type fans. Load factor during cargo handling is to be determined according to actual  Usage of fans A, B : <table><tr><td></td><td>No. of fan installed</td><td>No. of sets in</td></tr><tr><td>A</td><td>2 sets / 2 boilers</td><td>2</td></tr><tr><td>B</td><td>2 sets / 2 boilers</td><td>1 : up to 85% 2 : 85% and over</td></tr><tr><td>B</td><td>3 sets / 2 boilers</td><td>1 : up to 85% 2 : 85% and over</td></tr></table>		No. of fan installed	No. of sets in	A	2 sets / 2 boilers	2	B	2 sets / 2 boilers	1 : up to 85% 2 : 85% and over	B	3 sets / 2 boilers	1 : up to 85% 2 : 85% and over
				No. of fan installed	No. of sets in															
			A	2 sets / 2 boilers	2															
			B	2 sets / 2 boilers	1 : up to 85% 2 : 85% and over															
	B	3 sets / 2 boilers	1 : up to 85% 2 : 85% and over																	
	B	Cargo ship	65 ~ 75	50 ~ 60																
		Tanker	68 ~ 75	55 ~ 65																
	When dumper control	Cargo ship	75 ~ 85	70 ~ 80																
		Tanker	80 ~ 90	70 ~ 80																
		Drain pumps	When LPSG" in-scaled	Cargo ship	70	70	70													
				Tanker	60 ~ 75	55 ~ 70	80 ~ 90													
	Without LPSG" in-scaled		Cargo ship	70 25	70 25	70 75														
			Tanker	55 ~ 70	55 ~ 70	75 ~ 90														
Automatic combustion control devices				80 ~ 90	80 ~ 90	80 ~ 90														
Soot blowing air compressor				80 ~ 90			To be calculated as intermittent load depending on the type of boiler.													
Ship's service air compressor				80 ~ 90	80 ~ 90	80 ~ 90	In case of automatic starting device is installed													
Turning motor					80 ~ 90	80 ~ 90														
Aux. Machinery for diesel ships	A grade heavy fuel oil purifier and pumps				* 65		* 65	For the case that ship mainly uses C grade heavy fuel oil during sea going. However when the ship uses A grade heavy fuel oil during sea going the purifiers are to be continous load												
	Turning motor						* 80													
Aux. Machinery commonly used in diesel and turbine ships	General service pumps				* 65	* 65														
	Bilge pumps				85															
	Ballast pumps				85		85													
	Fuel oil transfer pumps				80		* 80	When sea water is used as ballast, ballast pump should be marked with *.												
	Lubricating oil extraxtion pumps				80		80													
	Lubricating oil purifiers				* 80		80	There may be a case to be used as a continous load												
	Deck machinery	Windlasses					* 40													
Boat winches						80														
Butterworth pump				85			In case of tanker this pump should be * marked and the general service pump is to be * marked.													
Stripping pumps				15 ~ 25		55 ~ 65														
Accommodation ladder winch					80															
Capstans and mooring winches					* 40															
Others		Galley, pantry and laundry service	Electric range	* 40 ~ 60	* 40 ~ 60	* 40 ~ 60	Considerations are to be given according to type and particular of installation													
	Electric oven		* 40 ~ 60	* 40 ~ 60	* 40 ~ 60	- d i t t o -														
	Others		40	40	40	Considerations are to be given when the equipment of large capacity is to be installed particularly														
	Projectors			* 80																
	Motor generator for battery use		80	80	80															
	Radar		* 100																	
	Radio equipment		* 80																	
	Nautical instruments		* 60	* 60																
	Motor siren and motor hom		80	80																

### II.2.3 Diversity Faktor

Diversity faktor sering juga disebut sebagai faktor kebersamaan, adalah faktor yang merupakan perbandingan antara total daya keseluruhan peralatan yang ada dengan total daya yang dibutuhkan untuk setiap satuan waktu. Faktor diversitas dapat digunakan untuk mencari beban operasi dengan tujuan menentukan jumlah total beban yang harus dilayani oleh generator akibat adanya pengoperasian beban-beban dalam waktu yang bersamaan. Daya masuk total dari seluruh pemakai daya yang ada dikalikan dengan suatu faktor kesamaan waktu bersama dan ditambahkan kepada daya masuk total dari seluruh perlengkapan pemakai daya yang terhubung tetap. Faktor kesamaan waktu bersama harus ditetapkan dengan dimasukkan pertimbangan beban tertinggi yang dapat diharapkan

terjadi pada waktu yang sama. Jika penentuan yang tepat sulit dilaksanakan maka faktor kesamaan waktu yang digunakan menurut aturan BKI tidak boleh rendah dari 0,5. Dalam perhitungan penentuan kapasitas generator ini diambil harga 0,7.

Daya total yang diperlukan adalah jumlah beban yang harus dilayani generator pada masing-masing kondisi operasi kapal dan besarnya menurut BKI adalah :

$$\text{Jumlah beban} = \text{Total penggunaan daya (continue)} + \text{faktor diversitas}$$

Untuk menentukan kapasitas generator yang dipilih dihitung dengan seminimalnya daya yang digunakan untuk mengoperasikan kapal dilaut adalah 15% lebih besar dari kebutuhan daya hasil perhitungan tabel Ballans Daya. Tujuan dari pembatasan ini adalah untuk menjaga kerja generator agar tidak terlalu berat yang berhubungan dengan masalah arus pengasutan pada motor-motor listrik. (Sarwito, 1995)

### II.3 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Sel Surya (*Photovoltaic*)

Pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Pembangkitan listrik bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu secara langsung menggunakan fotovoltaiik dan secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. Fotovoltaiik mengubah secara langsung energi cahaya menjadi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Pemusatan energi surya menggunakan sistem lensa atau cermin dikombinasikan dengan sistem pelacak untuk memfokuskan energi matahari ke satu titik untuk menggerakan mesin kalor.

Sel surya atau sel fotovoltaiik adalah alat yang mengubah energi cahaya menjadi energi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Efek fotovoltaiik ini ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foto ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Pada tahun 1954 peneliti di Bell Telephone menemukan untuk pertama kali sel surya silikon berbasis p-n junction dengan efisiensi 6%. Sekarang ini, sel surya silikon mendominasi pasar sel surya dengan pangsa pasar sekitar 82% dan efisiensi komersil sekitar 15%. Lalu sebuah elemen yang ditemukan di tanah yang mampu menghasilkan muatan listrik saat diletakkan di bawah sinar matahari. Kemudian solar cell digunakan sebagai tenaga ruang satelit dan untuk item-item kecil seperti jam dan kalkulator. Saat ini, solar panel digunakan sebagai sumber tenaga pada rumah. Solar cell ini menggunakan sekitar 10-20 yang dipasang dengan sudut tetap menghadap ke selatan atau dapat dipasang pada sebuah tracking device yang akan mengikuti cahaya matahari untuk menangkap cahaya matahari dengan maksimal. Suatu kesatuan solar panel yang terdiri dari beberapa solar panel yang dikombinasikan bersama untuk membentuk suatu sistem disebut dengan solar array.

Untuk penggunaan solar cell dalam skala besar atau aplikasi industri, ratusan solar array saling berhubungan untuk membentuk sebuah large utility-scale PV sistem. Tradisional panel dibuat dari silikon, biasanya berbentuk pelat datar. Generasi kedua dari solar cell adalah *thin-film solar cells* karena terbuat dari material nonsilikon seperti *galium arsenite*. Solar cell jenis ini menggunakan lapisan material semikonduktor yang tebalnya sangat kecil. Generasi ketiga solar cell dibuat dari variasi material baru selain silikon meliputi tinta solar (solar inks) yang menggunakan teknologi printing press konvensional, solar dyes, dan konduktif plastik (conductive plastics). Beberapa panel

surya menggunakan lensa plastik atau cermin untuk memfokuskan ke dalam lembaran kecil dari material PV berefisiensi tinggi.

### II.3.1 Jenis-Jenis Panel Surya

Terdapat jenis-jenis panel sel surya yang sering digunakan antara lain sebagai berikut,

a. Polikristal (poly-crystalline)

Panel surya jenis ini merupakan solar cell panel yang memiliki susunan kristal secara acak karena dipabrikan dengan proses pengecoran.. Untuk menghasilkan daya listrik yang sama, tipe polokristal membutuhkan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan jenis monokristal karena polikristal nilai effisiensinya lebih rendah dari monokristal. Karena efisiensi yang rendah tersebut harga dari polikristal lebih murah dari monokristal. Dan panel surya polikristal memiliki kelebihan dapat menghasilkan listrik pada saat mendung.



Gambar 2.2 Jenis Polikristal  
(Sumber : alibaba.com)

b. Monokristal (mono-crystalline)

Panel surya monokristal adalah panel surya yang memiliki nilai efisiensi paling baik dan mampu menghasilkan daya listrik per satuan luas paling tinggi. Kelemahan dari panel surya jenis ini adalah tidak dapat berfungsi baik di tempat yang kurang memiliki pencahayaan matahari (teduh) dan nilai effisiensinya akan turun signifikan saat cuaca yang berawan.



Gambar 2.3 Jenis Monokristal  
(Sumber : remonsolar.com)

c. Silikon Amorf (*Thin Film Photovoltaic*)

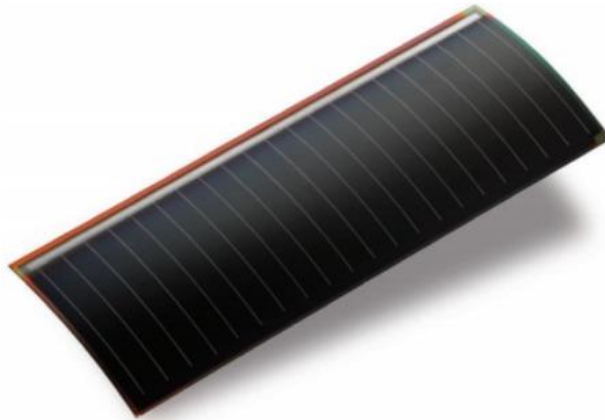
Silikon amorf pada panel surya jenis ini tidak memiliki struktur kristal. Jenis sel surya ini diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Biasanya dapat disebut *Thin Film Photovoltaic*. Sel surya jenis ini sangat tipis karenanya sangat ringan dan fleksibel. Silikon amorf telah digunakan sebagai bahan sel fotovoltaik untuk kalkulator dan jam tangan beberapa waktu ini. Namun dengan perkembangan teknologi, penerapannya menjadi semakin luas. Dengan teknik produksi susun lapis (*stacking*) dimana beberapa lapis silikon amorf ditumpuk-tumpuk agar membentuk sel surya. Dan hal tersebut akan memberikan efisiensi yang lebih baik. Panel surya ini lebih murah dalam proses produksinya namun kurang efisien dalam menghasilkan energi listrik dari matahari jika tidak diproduksi dengan teknologi susun lapis.



Gambar 2.4 Jenis Silikon Amorf  
(Sumber : amazon.com)

d. *Galium Arsenite*

Jenis panel surya ini adalah terdiri dari bahan semikonduktor dan senyawa gallium dan Arsenic. Pada dasarnya panel surya jenis ini memiliki harga yang sangat mahal. Kelebihan dari panel surya jenis adalah daya yang dihasilkan lebih baik dari jenis panel surya lainnya. Biasanya panel surya jenis ini digunakan pada teknologi di luar angkasa seperti satelite atau digunakan untuk teknologi di dunia militer.



Gambar 2. 5 Jenis *Galium Arsenite*  
(Sumber : [www.uasvision.com](http://www.uasvision.com))

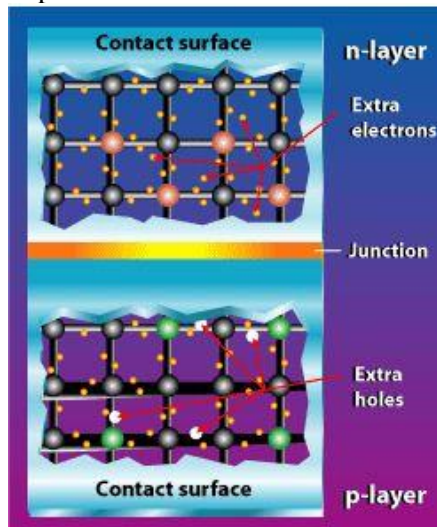
Dari keempat jenis panel surya diatas dapat dilihat pada tabel dibawah ini perbandingan dari keempat jenis tersebut yaitu :

Tabel 2. 3Perbandingan 4 Jenis Panel Surya  
(Sumber : <http://solarsuryaindonesia.com>)

Efesiensi	Perubahan Daya	Daya Tahan	Biaya	Keterangan	Penggunaan
Mono	Sangat Baik	Sangat Baik	Baik	Kegunaan Pemakaian Luas	Sehari-hari
Poly	Baik	Sangat Baik	Sangat Baik	Cocok untuk produksi massal di masa depan	Sehari-hari
Amorphous	Cukup Baik	Cukup Baik	Baik	Bekerja baik dalam pencahayaan fluorescent	Sehari-hari & perangkat komersial (kalkulator)
Compound (GaAs)	Sangat Baik	Sangat Baik	Cukup Baik	Berat & Rapuh	Pemakaian di luar angkasa

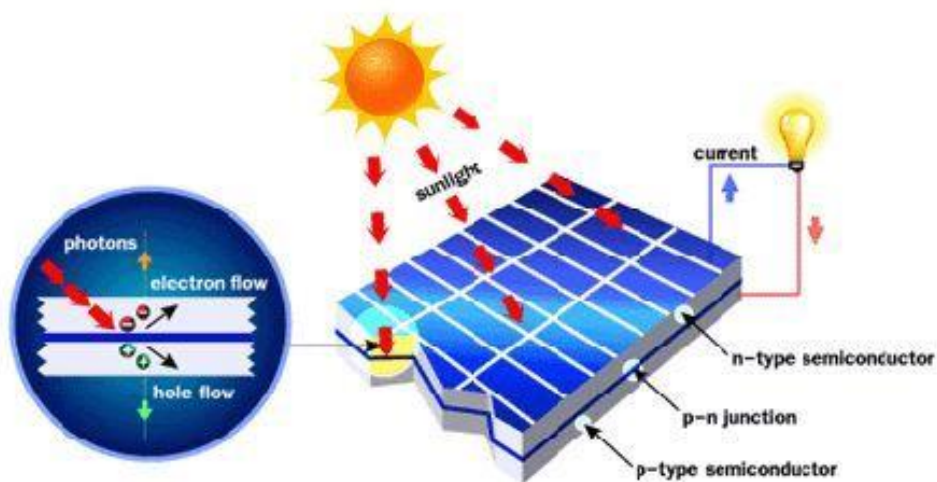
### II.3.2 Cara Kerja Panel Surya

Panel surya bekerja menggunakan prinsip P-N junction. P-N junction adalah junction antara semikonduktor tipe-P dan tipe-N. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-N mempunyai kelebihan elektron yang bermuatan negatif, sedangkan semikonduktor tipe-P mempunyai kelebihan *hole* yang bermuatan positif dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan *hole* tersebut bisa terjadi dengan diperkuat dengan material dengan atom dopant. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-P, silikon diperkuat oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-N, silikon diperkuat oleh atom fosfor. Ilustrasi dibawah menggambarkan junction semikonduktor tipe-P dan tipe-N.



Gambar 2. 6 Junction Semikonduktor tipe N dan tipe P  
(Sumber : eere.energy.gov)

Peran dari P-N junction ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron dan *hole* dapat menghasilkan listrik yang diekstrak oleh kontak material. Ketika semikonduktor tipe-P dan tipe-N bertemu dan mulai terjadi kontak antara keduanya, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-N ke tipe-P. Sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-N, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-P. Akibat dari aliran elektron dan hole ini maka terbentuk medan listrik yang dimana ketika cahaya matahari mengenai susunan P-N junction, maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya hole bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti diilustrasikan pada gambar dibawah.



Gambar 2. 7 Cara kerja sel surya pada prinsip P-N junction  
(Sumber : teknologisurya.wordpress.com)

### II.3.3 Perhitungan Kapasitas Panel Surya

Perhitungan nilai daya listrik yang dapat dihasilkan oleh panel surya yang dipilih nantinya, pada dasarnya menggunakan rumus fungsi luas dari panel surya tersebut. Semakin luas dari panel surya yang disediakan maka semakin besar pula energi/daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya tersebut. Berikut ini perhitungan nilai kapasitas daya listrik yang dihasilkan oleh solar cell dapat dihitung seperti dibawah ini,

$$PPV = t \times n \times P_{max}$$

Keterangan :  
 PPV = Besarnya daya yang dihasilkan fotovoltaiik  
 t = Peak intensitas matahari  
 n = Jumlah panel surya yang dipasang  
 P = Kapasitas daya yang mampu dihasilka satu panel surya

besarnya nilai peak intensitas matahari didasarkan pada perhitungan diatas dari pukul 7 pagi hingga pukul 5 sore. Dapat diambil kesimpulan maksimum peak intensitas matahari di Indonesia diasumsikan sebesar 5 jam dan minimal sebesar 4 jam.

### II.3.4 Komponen Panel Surya

#### a) Panel Surya

Panel surya adalah komponen utama dari pembangkit listrik tenaga sel surya. Berfungsi untuk mengubah cahaya dari energi matahari menjadi energi listrik. Untuk menghasilkan listrik digunakan efek fotovoltaiik.

## b) Inverter

Inverter adalah perangkat yang digunakan untuk mengubah arus DC (12/24 V) yang dihasilkan dari panel surya atau baterai menjadi arus AC dengan tegangan 220 Volt yang kemudian digunakan untuk kebutuhan listrik sehari-hari.

## c) Baterai

Baterai adalah alat untuk menyimpan muatan listrik dengan mengubah energi kimia yang ada di baterai menjadi energi listrik. Jadi saat sel surya mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik, energi listrik tersebut dapat disimpan di baterai dan dapat disuplai ke alat-alat elektronik dengan sumber arus searah.

## d) Kontroller

adalah alat yang digunakan untuk mengontrol proses pengisian muatan listrik dari panel surya ke dalam baterai.

## II.4 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin (*Wind Turbine*)

Pembangkit listrik tenaga angin (*wind power*) adalah konversi terjadinya energi listrik berdasarkan pada energi gerak/kecepatan angin sehingga energi gerak yang bisa dikonversi menjadi listrik melalui turbin atau kincir angin. Sistem pembangkitan listrik menggunakan angin sebagai sumber energi merupakan pemanfaatan sebagai energi alternatif yang memiliki dampak positif kedepannya, mengingat angin merupakan salah satu energi yang selalu ada kesediannya di sekitar kita.

Sistem pembangkit listrik tenaga angin ini merupakan pembangkit listrik yang menggunakan *wind turbine* sebagai sumber penghasil listrik utamanya. Terdapat 2 jenis *wind turbine* yaitu turbin sumbu horizontal dan sumbu vertikal. Turbin angin sumbu horizontal biasanya memiliki dua atau tiga modul. Lalu turbin angin sumbu vertikal. Turbin ini berbilah tiga dioperasikan melawan angin, dengan modul menghadap ke angin.

Keuntungan dari menggunakan pembangkit listrik tenaga angin karena sifatnya yang terbarukan tak pernah akan habis. Hal ini berarti pemberdayaan sumber energi ini tidak akan membuat sumber daya angin akan berkurang seperti halnya penggunaan bahan bakar fosil. Oleh karena itu tenaga angin dapat berkontribusi dalam ketahanan energi dunia terutama pada dunia maritim kedepannya. Tenaga angin juga merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, dimana penggunaannya tidak mengakibatkan emisi gas buang atau polusi yang berarti ke lingkungan. Keuntungan penggunaan di kapal adalah kondisi angin sangat besar di kapal. Pemanfaatan pada kapal dapat mendorong kapal yang *eco friendly*.

### II.4.1 Jenis Turbin Angin

Turbin angin menurut (Daryanto, 2007) terdapat dua kelompok utama berdasarkan arah sumbunya, yaitu :

## a) Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin dengan sumbu horizontal mempunyai sudu yang berputar dalam bidang vertikal seperti halnya propeler pesawat terbang. Turbin angin biasanya mempunyai sudu dengan bentuk irisan melintang khusus di mana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat dari aliran udara di sisi yang lain ketika angin melewatinya. Hal ini menimbulkan daerah tekanan rendah pada



- belakang sudu dan daerah tekanan tinggi di depan sudu. Perbedaan tekanan ini membentuk gaya yang menyebabkan sudu berputar.
- b) Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin dengan sumbu vertikal bekerja dengan prinsip yang sama seperti halnya kelompok horizontal. Namun, sudunya berputar dalam bidang yang paralel dengan tanah, seperti mixer kocokan telur. Setiap jenis turbin angin memiliki ukuran dan efisiensi yang berbeda. Untuk memilih jenis turbin angin yang tepat untuk suatu kegunaan diperlukan tidak hanya sekedar pengetahuan tetapi juga pengalaman.

Setiap jenis turbin angin memiliki ukuran dan efisiensi yang berbeda. Untuk memilih jenis turbin angin yang tepat untuk suatu kegunaan diperlukan tidak hanya sekedar pengetahuan tetapi juga pengalaman. Pada umumnya turbin angin yang mempunyai jumlah sudu banyak memiliki torsi yang besar. Turbin angin jenis ini banyak digunakan untuk keperluan mekanikal seperti pemompaan air, pengolahan hasil pertanian dan aerasi tambak. Sedangkan turbin angin dengan jumlah sudu sedikit, misalnya dua atau tiga, digunakan untuk keperluan pembangkitan listrik. Turbin angin jenis ini mempunyai torsi rendah tetapi putaran rotor yang tinggi.



Gambar 2. 8 Turbin Angin Sumbu Horizontal (Atas), dan Sumbu Vertikal (Bawah)  
(Sumber : [www.google.com](http://www.google.com))

## II.4.2 Cara Kerja Turbin Angin

Cara kerja dari turbin angin yaitu dengan memanfaatkan energi angin untuk memutar turbin angin. Kemudian angin akan memutar sudut turbin, kemudian dilanjutkan untuk memutar rotor pada generator yang terdapat pada bagian belakang turbin angin. Fungsi generator disini adalah sebagai pengubah energi gerak/mekanik menjadi energi listrik menurut teori medan elektromagnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen. Pada poros disekelilingnya terdapat stator yang bentuk terdiri dari kumparan-kumparan kawat yang membentuk loop. Saat poros generator mulai berputar, kemudian akan terjadi perubahan fluks pada stator. Hal ini yang menyebabkan munculnya tegangan dan arus listrik. Tegangan dan arus listrik ini kemudian disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan sesuai kebutuhan operasional. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (arus bolak-balik) yang memiliki bentuk gelombang sinusoidal.

### II.4.3 Perhitungan Kapasitas Turbin Angin

Pertama-tama melakukan dilakukan perhitungan kecepatan angin rata-rata. Untuk mengetahui kecepatan angin rata-rata dengan tinggi yang sesuai dengan penempatan turbin angin pada kapal, dapat dihitung dengan rumus *hellman exponential law* :

$$\frac{v}{v_0} = \left( \frac{H}{H_0} \right)^\alpha$$

Keterangan :  
 $v$  = Kecepatan sesuai H  
 $v_0$  = Kecepatan rata-rata pada ketinggian  $H_0$   
 $H$  = Tinggi tempat peletakan turbin angin  
 $H_0$  = Tinggi yang biasa digunakan untuk aplikasi turbin angin (Normalnya diketinggian 10m)  
 $\alpha$  = *friction coefficient or Hellman exponent*.

Tabel 2. 4 Nilai *friction coefficient*  $\alpha$

Landscape type	Friction coefficient $\alpha$
Lakes, ocean and smooth hard ground	0.10
Grasslands (ground level)	0.15
Tall crops, hedges and shrubs	0.20
Heavily forested land	0.25
Small town with some trees and shrubs	0.30
City areas with high rise buildings	0.40

Karena penerapan turbin angin akan di aplikasikan di kapal, maka kecepatan angin yang digunakan dalam perhitungan daya turbin angin adalah nilai resultan dari kecepatan kapal dan kecepatan angin, yaitu :

$$R = \sqrt{V^2 + V_s^2}$$

Keterangan :  
 $V$  = Kecepatan angin sesuai H  
 $V_s$  = Kecepatan dinas kapal  
 $R$  = Nilai Resultan

Perhitungan daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin angin adalah sebagai berikut

$$P = Et = 1/2 \cdot A \cdot \rho \cdot v^3 \cdot t$$

Energi E (Joule) yang terkandung dalam angin ketika kecepatan angin yaitu  $v$  (m/s), dan kerapatan udara,  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>),  $r$  (m) rotor tegak lurus melalui wilayah dengan radius lingkaran mengalir dari sebuah turbin angin dengan sumbu horisontal dalam waktu  $t$  (s).  $P$  adalah daya (Watt).

Menurut ilmu fisika, rumus energi kinetik dari benda yang memiliki massa  $m$  dan kecepatan  $v$  adalah  $E = \frac{1}{2} m.v^2$ , dengan asumsi bahwa kecepatan  $v$  tidak mendekati kecepatan cahaya. Rumus tersebut juga berlaku untuk menghitung energi kinetik yang diakibatkan oleh gerakan angin. Sehingga didapatkan rumus

$$E = \frac{1}{2} m.v^2$$

Keterangan :

$E$  = Energi (Joule)

$m$  = Massa udara (Kg)

$v$  = Kecepatan angin (m/s)

Bila suatu blok udara yang mempunyai penampang  $A$  ( $m^2$ ), dan bergerak dengan kecepatan  $v$  (m/s), maka jumlah massa yang melewati suatu tempat adalah:

$$m = A v \rho$$

Keterangan :

$A$  = Luas Penampang ( $m^2$ )

$\rho$  = Kerapatan udara ( $Kg/m^3$ )

$v$  = Kecepatan angin (m/s)

Dengan melihat persamaan sebelumnya kita bisa menghitung daya ( $P$ ) yang dihasilkan oleh energi angin sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{2} A \rho \eta v^3$$

Dimana:

Keterangan :

$P$  = Daya yang dapat dihasilkan oleh turbin angin

$A$  = Swept area wind turbine

$\rho$  = Massa jenis udara

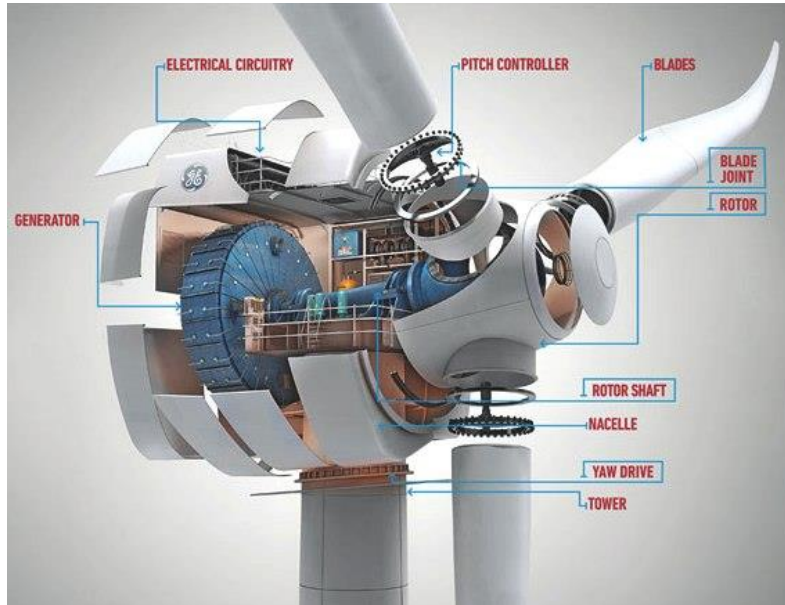
$\eta$  = Efisiensi turbin angin

$v$  = Kecepatan angin

Secara teori *betz limit*, efisiensi maksimum yang bisa dicapai setiap desain turbin angin adalah 59%, artinya energi angin yang bisa diserap hanyalah 59%. Jika faktor-faktor seperti kekuatan dan durabilitas diperhitungkan, maka efisiensi sebenarnya hanya 35 - 45%, bahkan untuk desain terbaik. Terlebih lagi jika ditambah inefisiensi sistem wind turbine lengkap, termasuk generator, bearing, transmisi daya dan sebagainya, hanya 10- 30% energi angin yang bisa dikonversikan ke listrik (Vennel, 2013)

#### II.4.4 Komponen Turbin Angin

- |                        |                   |
|------------------------|-------------------|
| a) <i>Blade</i>        | g) Generator      |
| b) Rotor               | h) Baterai        |
| c) <i>Pitch</i>        | i) <i>Nacelle</i> |
| d) <i>Shaft</i>        | j) Yaw Drive      |
| e) Gear Box            | k) Tower          |
| f) <i>Brake Sistem</i> |                   |



Gambar 2. 9 Komponen Wind Turbine  
(<http://www.bluebird-electric.net/>)

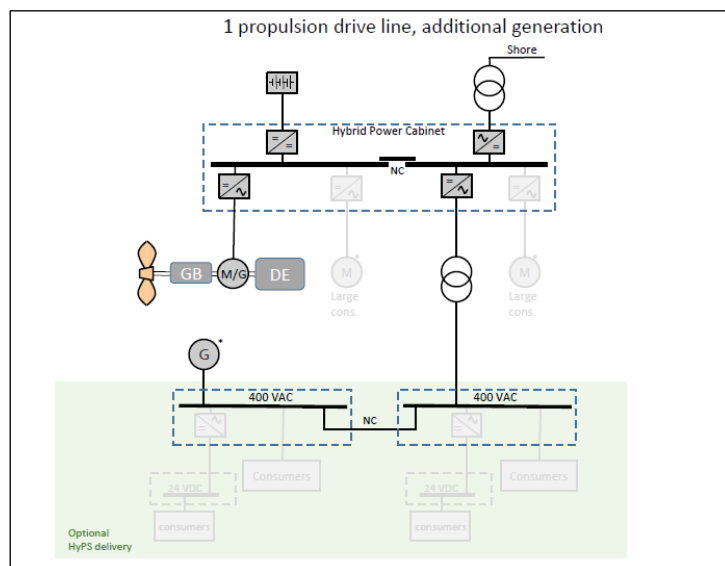
#### II.5 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Sistem pembangkit listrik *hybrid* didefinisikan sebagai suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang menggabungkan dua atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda, umumnya digunakan untuk *isolated grid*, sehingga diperoleh sinergi penerapannya dapat menghasilkan keuntungan ekonomis maupun teknis. (Kunaifi, 2010). PLTH (Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid berfungsi untuk membangkitkan listrik dengan menggunakan lebih dari 1 macam pembangkit. Tetapi yang berbeda adalah kombinasi pembangkit listrik ini menggabungkan sumber energi yang dapat diperbaharui (renewable) dengan yang tidak dapat diperbaharui (unrenewable). Energi untuk pembangkit listrik hybrid yang digunakan dapat berasal dari energi matahari, angin, dan lain-lain yang berasal dari energi alternatif dan dikombinasikan dengan Diesel-Generator. Sehingga menjadi suatu pembangkit yang lebih efisien, efektif dan handal untuk dapat mensuplai kebutuhan energi listrik. Dengan adanya kombinasi dari sumber-sumber energi tersebut, diharapkan dapat menyediakan catu daya listrik yang kontinyu dengan efisiensi yang paling optimal.



Gambar 2. 10 Wind Turbine on Solar Cell

([http://www.solarnavigator.net/wind\\_turbines\\_how\\_they\\_work.htm](http://www.solarnavigator.net/wind_turbines_how_they_work.htm))



Gambar 2. 11 Aplikasi Sistem Hybrid di Kapal  
(Sumber : HYPS Hybrid Power Systems.pdf)

## II.6 Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Stabilitas sistem tenaga listrik adalah kemampuan dari sistem untuk mendapatkan kembali kesetimbangan kondisi operasi setelah mengalami gangguan. Integritas sistem dipertahankan ketika keseluruhan sistem tenaga listrik tetap pada kondisi *full load* tanpa pemutusan pembangkit listrik atau beban, kecuali untuk mengisolasi dari elemen yang mengalami gangguan atau sengaja diputuskan untuk mempertahankan kestabilan operasi sistem kelistrikan.

Sistem tenaga listrik adalah sistem yang beroperasi dengan perubahan beban, keluaran generator, topologi, dan parameter operasi lain secara kontinyu. Gangguan pada sistem tenaga listrik dibagi menjadi dua, yaitu gangguan kecil dan besar. Gangguan kecil dalam bentuk perubahan beban yang terjadi secara kontinyu dan sistem akan menyesuaikan dengan perubahan kondisi. Sistem harus dapat beroperasi dibawah setiap kondisi secara ideal dan sesuai dengan permintaan beban. Sistem juga harus dapat dipertahankan dari

gangguan besar seperti hubungan singkat saluran transmisi. Pengklasifikasian stabilitas sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga bagian, yaitu stabilitas sudut rotor, stabilitas frekuensi dan stabilitas tegangan.

### **II.6.1 Stabilitas Tegangan**

Stabilitas tegangan berhubungan dengan kemampuan suatu sistem untuk mempertahankan tegangan tunak dalam seluruh rangkaian pada kondisi operasi normal setelah mengalami gangguan. Akibat dari ketidak stabilan tegangan adalah lepasnya beban pada area dimana tegangan mencapai nilai rendah yang tidak dapat diterima atau kehilangan integritas sistem tenaga listrik.

Faktor utama penyebab ketidakstabilan tegangan biasanya adalah drop tegangan yang terjadi ketika daya aktif dan daya reaktif mengalir melalui reaktansi induktif pada jaringan transmisi. Hal ini membatasi jaringan untuk mengirim daya. Transfer daya akan terbatas ketika generator mencapai batas dari maksimal daya reaktifnya. Berdasarkan rentan waktu terjadi, stabilitas tegangan dibagi menjadi stabilitas tegangan transien (*transient voltage stability*) dan stabilitas jangka panjang (*longer-term stability*).

### **II.6.2 Stabilitas Frekuensi**

Stabilitas frekuensi adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan nilai frekuensi pada kondisi *steady state* pada kisaran nominal mengikuti beberapa gangguan sistem karena ketidakseimbangan antara pembangkit dan beban. Hal ini bergantung pada pengembalian keseimbangan antara sistem beban dan pembangkitan dengan meminimalkan pelepasan/kehilangan beban.

### **II.6.3 Stabilitas Sudut Rotor**

Stabilitas sudut rotor adalah stabilitas yang berhubungan dengan kemampuan mesin sinkron yang terhubung pada sistem tenaga listrik untuk tetap pada kondisi sinkron setelah mengalami gangguan. Kestabilan sudut rotor bergantung pada kemampuan untuk mengembalikan kesetimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanik masing-masing mesin pada sistem. Ketidakstabilannya dapat menyebabkan kenaikan sudut ayunan pada generator yang berakibat kehilangan sinkronisasinya dengan generator lain. Kestabilan sudut rotor dibagi menjadi dua, yaitu stabilitas gangguan kecil (keadaan tunak) dan stabilitas keadaan transien.

## **II.7 Definisi Kondisi Transien**

Kondisi transient adalah kondisi peralihan suatu sistem (khususnya stabilitas tegangan transient pada tugas akhir ini) untuk menjadi stabil ketika terjadi gangguan ataupun pada start awal. Analisis Kestabilan Kondisi transient perlu dilakukan. Pada software transient digunakan untuk mengetahui batas stabilitas sistem tenaga pada saat sebelum, sesudah, maupun pada saat terjadi perubahan atau gangguan pada sistem. Pada simulasi stabilitas transien ini sistem dimodelkan secara dinamik, dimana kejadian gangguan yang terjadi di-set oleh user, dan penyelesaian persamaan jaringan dan persamaan diferensial mesin diselesaikan secara interaktif dalam melihat respon sistem maupun mesin dalam kawasan waktu. Dari respon tersebut, pengguna dapat menentukan kondisi transien sistem, melakukan studi stabilitas, menentukan pengaturan peralatan

proteksi, dan mengaplikasikan suatu perubahan pada sistem untuk meningkatkan stabilitas. Performa dinamis sistem tenaga sangat penting dalam desain dan operasi. Studi transien dan stabilitas digunakan untuk menentukan sudut daya mesin / pergeseran kecepatan, frekuensi sistem, aliran daya aktif dan reaktif, dan level tegangan *bus*. Penyebab ketidakstabilan sistem antara lain :

- a. Perubahan mendadak pada pembangkitan atau beban
- b. Hubung singkat
- c. Lepasnya *tie-connection utility sistem*
- d. Starting motor
- e. Lepasnya salah satu generator

Dalam keadaan operasi yang stabil dari sistem tenaga listrik terdapat keseimbangan antara daya mekanis pada *prime mover* dengan daya listrik/beban listrik pada sistem. Dalam keadaan ini semua generator berputar pada kecepatan sinkron. Hal ini terjadi bila setiap kenaikan dan penurunan beban harus diikuti dengan perubahan daya *input* mekanis pada *prime mover* dari generator-generator. Bila daya *input* mekanis tidak cepat mengikuti dengan perubahan beban dan rugi-rugi sistem maka kecepatan rotor generator (frekuensi sistem) dan tegangan akan menyimpang dari keadaan normal terutama jika terjadi gangguan, maka sesaat terjadi perbedaan yang besar antara daya mekanis pada generator dan daya listrik yang dihasilkan oleh generator. Kelebihan daya mekanis terhadap daya listrik mengakibatkan percepatan pada putaran rotor generator atau sebaliknya, bila gangguan tersebut tidak dihilangkan segera maka percepatan dan perlambatan putaran rotor generator akan mengakibatkan hilangnya sinkronisasi dalam sistem. (Kundur, 2014)

Stabilitas sistem tenaga listrik adalah suatu kemampuan sistem tenaga listrik atau bagian komponennya untuk mempertahankan sinkronisasi dan keseimbangan dalam sistem. Batas stabilitas sistem adalah daya-daya maksimum yang mengalir melalui suatu titik dalam sistem tanpa menyebabkan hilangnya stabilitas.

Berdasarkan sifat gangguan masalah stabilitas sistem tenaga listrik dibedakan atas:

1. Stabilitas tetap (*steady state*)
2. Stabilitas peralihan (*transient*)
3. Stabilitas sub peralihan (*dynamic*)

Stabilitas *steady state* adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik mempertahankan sinkronisasi antara mesin-mesin dalam sistem setelah mengalami gangguan kecil (fluktuasi beban). Stabilitas transien adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik mempertahankan sinkronisasi setelah mengalami gangguan besar yang bersifat mendadak sekitar satu ayunan atau satu *swing* pertama dengan asumsi bahwa pengatur tegangan otomatis (AVR) belum bekerja. Sedangkan stabilitas dinamis adalah bila setelah ayunan pertama (periode stabilitas transien) sistem mampu mempertahankan sinkronisasi sampai sistem dalam keadaan seimbang yang baru (stabilitas transien bila AVR dan governor bekerja cepat dan diperhitungkan dalam analisis). (Kundur, 2014)

Ketidakseimbangan antara daya pembangkit dengan beban menimbulkan suatu keadaan transien yang menyebabkan rotor dari mesin sinkron berayun karena adanya torsi yang mengakibatkan percepatan atau perlambatan pada rotor tersebut. Kehilangan sinkronisasi ini terjadi bila torsi tersebut cukup besar, maka salah satu atau lebih dari mesin sinkron tersebut akan kehilangan sinkronisasinya, misalnya terjadi ketidakseimbangan yang disebabkan adanya daya pembangkit yang berlebihan, maka sebagian besar dari energi yang berlebihan akan diubah menjadi energi kinetik yang mengakibatkan percepatan sudut rotor bertambah besar, walaupun kecepatan rotor bertambah besar, tidak berarti bahwa sinkronisasi dari mesin tersebut akan hilang, faktor yang menentukan adalah perbedaan sudut rotor atau daya tersebut diukur terhadap referensi putaran sinkronisasi.

Faktor-faktor utama dalam masalah stabilitas adalah:

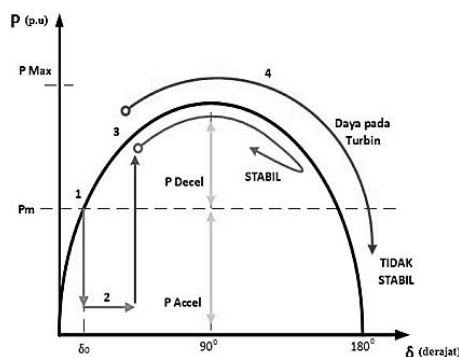
1) Faktor mekanis:

- a. Torsi input *prime* beban
- b. Inersia dari *prime mover* dan generator
- c. Inersia motor dan sumbu beban
- d. Torsi input sumbu beban

2) Torsi listrik:

- a. Tegangan internal dari generator sinkron
- b. Reaktansi sistem
- c. Tegangan internal dari motor sinkron

Gangguan besar yang terjadi pada sistem tenaga listrik mempengaruhi kinerja generator sehingga putaran rotor generator dapat mengalami fluktuasi kecepatan. Berikut pada Gambar 2.6 merupakan perilaku generator ketika sistem mengalami gangguan.



**Gambar 2. 12 Perilaku generator saat terjadi gangguan**  
(Sumber : *Power Sistem Stability And Control by Prabha Kundur*)

Pada titik kerja awal (sebelum terjadi gangguan), dapat diketahui bahwa timbulnya gangguan seketika mengakibatkan daya *output* generator turun secara drastis. Selisih antara daya *output* listrik tersebut dan daya mekanis turbin mengakibatkan rotor generator mengalami percepatan, sehingga sudut rotor/daya bertambah besar. Ketika



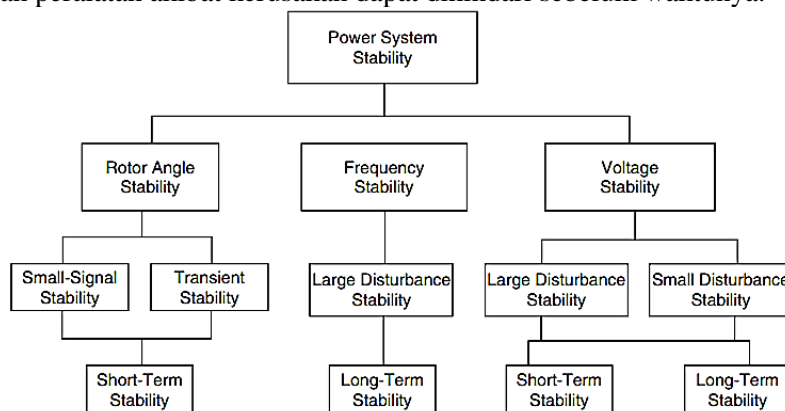
gangguan hilang, daya *output* generator pulih kembali pada harga yang sesuai dengan kurva  $p-\delta$  di atas.

Setelah gangguan hilang, daya *output* generator menjadi lebih besar daripada daya mekanis turbin. Hal ini mengakibatkan perlambatan pada rotor generator. Bila terdapat torsi lawan yang cukup setelah gangguan hilang untuk mengimbangi percepatan yang terjadi selama terjadinya gangguan, generator akan stabil setelah ayunan (*swing*) yang pertama dan kembali ke titik kerjanya dalam waktu kira-kira 0,5 detik. Bila kopel lawan tersebut tidak cukup besar, sudut rotor/daya akan terus bertambah besar sampai sinkronisasi dengan sistem hilang. (Kundur, 2014)

Pengaruh/penentuan stabilitas menurut (Kundur, 2014) ditentukan dari beberapa faktor-faktor pendukung, antara lain:

1. Kapasitas kemampuan alternator, semakin besar daya mampu sistem tersebut maka sistem akan semakin stabil.
2. Sifat dan kapasitas beban, pembebanan yang melebihi kapasitas daya pembangkitan akan mempengaruhi kestabilan sistem secara keseluruhan. Pembebanan melebihi kapasitas dalam jangka waktu yang lama juga berpotensi mengganggu kestabilan yang mampu mengakibatkan kegagalan sistem.
3. Gangguan: jenis, lama, dan posisi gangguan pada kejadian gangguan satu fasa ke tanah dan gangguan sementara/temporer mempunyai kondisi kestabilan yang lebih baik dibandingkan dengan sistem yang mengalami gangguan lainnya.

Stabilitas sistem tenaga listrik menentukan keandalan sistem. Semakin tinggi stabilitas suatu sistem, maka kestabilan sistem juga semakin tinggi. Hal ini juga mempengaruhi umur peralatan pada sistem yang digunakan. Pengoperasian pada kestabilan yang baik tentu berdampak pada keekonomisan peralatan yang berarti penggantian peralatan akibat kerusakan dapat dihindari sebelum waktunya.



Gambar 2. 13 Klasifikasi stabilitas sistem tenaga listrik  
(Sumber : *Power Sistem Stability And Control by Prabha Kundur*)

## II.8 Standar Kestabilan Tegangan

### II.8.1 Standar BKI Volume IV

Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) adalah Badan Usaha Milik Negara Indonesia yang bertugas untuk melakukan survey dan memberikan kelas pada kapal niaga berbendera Indonesia maupun asing yang beroperasi di perairan Indonesia. Salah satu kegiatan klasifikasi BKI yaitu melakukan pengklasifikasian kapal berdasarkan listrik kapal dengan tujuan memberikan penilaian teknis atas layak tidaknya kapal tersebut untuk berlayar dari segi *electrical* nya. Pada BKI Volume IV tentang peraturan instalasi listrik di kapal diatur untuk penentuan stabilitas tegangan dan frekuensi pada sistem distribusi daya, terdapat nilai standarnya terdapat standar pada kondisi operasi kapal untuk penggunaan distribusi sistem peralatan AC & DC seperti pada tabel 2.5 dan 2.6.

Tabel 2. 5 Standar variasi tegangan dan frekuensi sistem distribusi AC  
(Sumber : BKI Vol IV)

Quantity in operation	Variations	
	permanent	transient
Frequency	$\pm 5 \%$	$\pm 10 \%$ (5 sec)
Voltage	+ 6 %, - 10 %	$\pm 20 \%$ (1,5 sec)

Tabel 2. 6 Standar variasi tegangan sistem distribusi DC  
(Sumber : BKI Vol IV)

Parameters	Variations
Voltage tolerance (continuous)	$\pm 10 \%$
Voltage cyclic variation deviation	5 %
Voltage ripple (a.c. r.m.s. over steady d.c. voltage)	10 %

### II.8.2 Standar IEEE Standard 45

IEEE adalah organisasi internasional yang beranggotakan para insinyur untuk mengurus bidang kelistrikan dan elektronika di dunia. IEEE memiliki tujuan untuk mengembangkan teknologi agar dapat meningkatkan harkat kemanusiaan. IEEE dulunya dikenal singkatan dari (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) dan berdiri pada 16 Februari 1988. Namun sekarang lebih dikenal dengan IEEE saja dari pada kepanjangannya yang tidak lagi digunakan.

Pada IEEE standard 45 membahas mengenai “*A Guide to Electrical Installations on Shipboard*”. pada standar ini diatur mengenai kondisi berapa nilai toleransi nilai tegangan saat kondisi transient dan waktu *recovery time* yang masih dalam kondisi yang dapat dipertanggung jawabkan. Dan juga mengatur nilai standar kondisi tegangan *steady state* pada bagian *Shipboard electrical system power quality*. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada tabel 2.7 yaitu IEEE Std 45-2002, 4,5 dibawah ini.

Tabel 2. 7 IEEE Std 45-2002, 4,5

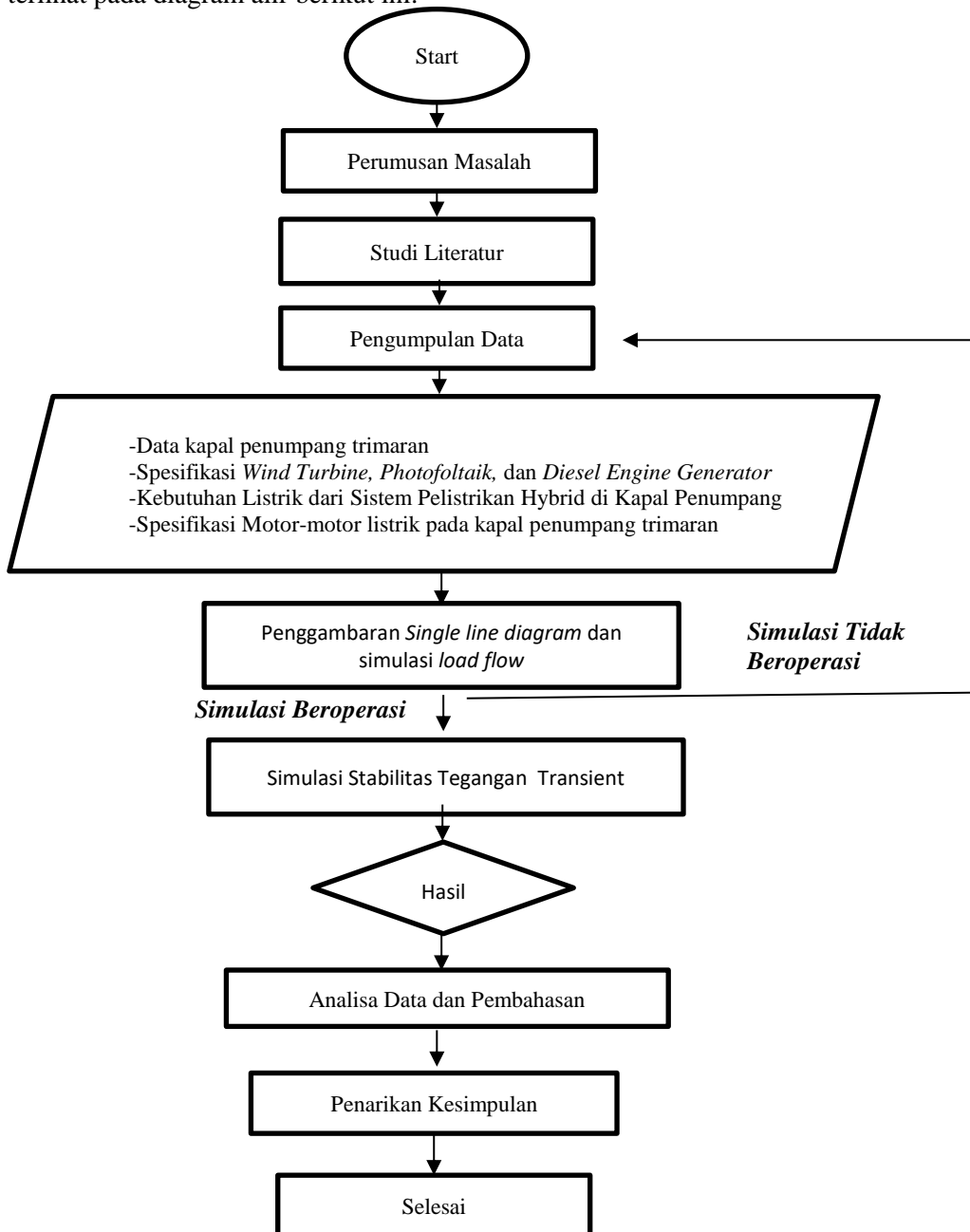
Characteristics	Limits
<b>Frequency</b> a) Nominal frequency b) Frequency tolerances c) Frequency modulation d) Frequency transient: 1) Tolerance 2) Recovery time e) The worst-case frequency excursion from nominal frequency resulting from item b), item c), and item d) 1) combined, except under emergency conditions.	50/60 Hz $\pm 3\%$ $\frac{1}{2}\%$ $\pm 4\%$ 2 s $\pm 5\frac{1}{2}\%$
<b>Voltage</b> a) User voltage tolerance: 1) Average of the three line-to-line voltages 2) Any one line-to-line voltage, including item a) 1) and line voltage unbalances item b) b) Line voltage unbalance c) Voltage modulation d) Voltage transient: 1) Voltage transient tolerances 2) Voltage transient recovery time e) Voltage spike (peak value includes fundamental) f) The maximum departure voltage resulting from item a) 1) and item d) combined, except under transient or emergency conditions. g) The worst case voltage excursion from nominal user voltage resulting from item a) 1), item a) 2), and item d) 1) combined, except under emergency conditions.	$\pm 5\%$ $\pm 7\%$ 3% 5% $\pm 16\%$ 2 s $\pm 2500$ V (380–600 V) system; 1000 V (120–240 V) system $\pm 6\%$ $\pm 20\%$

Untuk standar yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu menggunakan standar **IEEE Std 45-2002, 4,5**. Dengan membandingkan nilai hasil simulasi dengan standar *User voltage tolerance* dan *voltage transient*.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian merupakan acuan yang di gunakan dalam pelaksanaan penelitian. Secara umum metode penelitian merupakan tahapan dan proses yang di gunakan untuk mencapai tujuan dari penelitian tugas akhir. Alur penelitian sebagaimana terlihat pada diagram alir berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### III.1 Perumusan Masalah

Identifikasi dan perumusan masalah adalah langkah awal yang dilakukan untuk mengetahui jalannya suatu penelitian. Diketahui bahwa persediaan minyak dunia semakin menipis dan habis beberapa tahun ke depan. Gas buang yang dikeluarkan oleh generator kurang ramah lingkungan. Oleh sebab itu muncul ide untuk menerapkan kapal yang eco-friendly ship dan menggunakan *renewable energi* sebagai bahan bakarnya. Lebih tepatnya menggunakan sistem *hybrid* pada kapal. Permasalahan yang di fokuskan pada tugas akhir ini adalah bagaimana kondisi transient pada sistem pembangkit listrik hybrid pada kapal saat dioperasikan. Dan mengetahui kondisi stabilitas tegangan dikapal tersebut saat pengoperasian pembangkit listrik divariasikan agar tidak mempengaruhi performa sistem pembangkit listrik hybrid.

### III.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan referensi pendukung tentang penelitian tugas akhir ini. Referensi pendukung berupa buku, jurnal, paper, artikel, atau bisa seminar yang berhubungan dengan *renewable energi* dengan sistem hybrid pada kapal menggunakan perpaduan *wind turbine*, *photovoltaik*, dan *diesel engine generator*. Studi literatur ini juga mencari bagaimana sistem kerja dan berapa energi yang dihasilkan dari pembangkit listrik dengan sistem pembangkit listrik turbin angin (*wind turbine*) dan pembangkit listrik sel-surya (*Photovoltaik*). Sekaligus mencari referensi pendukung pengertian kondisi transien terutama dalam stabilitas tegangan.

### III.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini bertujuan untuk mendapatkan *general arrangement*, *wiring diagram*, *power load* pada kapal penumpang trimaran dari penelitian yang dilakukan oleh Bapak Aries Sulisetyono St, Ma.Sc, Ph.D dosen teknik perkapalan ITS. Pengumpulan data dilakukan berdasarkan hasil dari Studi Literatur yang kemudian ditentukan variable penelitian yang sesuai dengan tujuan penelitian tugas akhir ini.. Variable penelitian yang ditentukan meliputi variable bebas, variable terikat, dan variable kontrol. Variable tersebut antara lain :

Variabel Bebas : Spesifikasi dari wind turbine, photovoltaik, dan diesel engine generator yang dibutuhkan sebagai pembangkit listrik *hybrid* pada kapal penumpang.

Variabel Terikat : Waktu *recovery time*, nilai toleransi stabilitas tegangan, dan nilai tegangan setelah kondisi transient (*user voltage tolerance*) dari hasil simulasi pembangkit listrik *hybrid* generator, photovoltaik, dan turbin angin.

Variabel Kontrol : Beban listrik(*power load*), dan waktu penggunaan pembangkit listrik *hybrid* pada kapal penumpang.

### III.4 Penggambaran *Single line Diagram* dan Simulasi *Load Flow*

Setelah melakukan pengumpulan data, dilakukan penggambaran *single line diagram* pada salah satu *software transient analysis*. Dilakukan pemasangan sesuai bus yang direncanakan pada perhitungan beban listrik sebelumnya. Dilakukan pemasangan kabel dan *circuit breaker* pada penggambaran *single line diagram*. Setelah dilakukan penggambaran, setelah itu dilakukan simulasi *load flow*. Simulasi ini dilakukan sebagai syarat awal sebelum melanjutkan simulasi ke tahap selanjutnya yaitu simulasi stabilitas tegangan. Jika simulasi *load flow* tidak dapat beroperasi, atau simulasi tidak berjalan maka perlu ditinjau ulang dari pengumpulan data dan penggambaran *single line diagram* ulang. Tidak dapat beroperasi disini adalah jika tidak berjalannya simulasi, dan nilai yang ditunjukkan simulasi *load flow* berbeda jauh dari hitungan kebutuhan beban listrik. Simulasi *load flow* dapat beroperasi, maka dapat dilanjutkan ke tahap simulasi stabilitas tegangan. Karena pada *software* yang digunakan memiliki syarat bahwa *single line diagram* yang dimodelkan harus dapat berjalan di simulasi *load flow* terlebih dahulu.

### III.5 Simulasi Stabilitas Tegangan

Simulasi Stabilitas Tegangan dengan salah satu *software analisis transient*. Dengan *software* tersebut yang telah dirancang *single line diagram* sekaligus syarat simulasi *Load Flow* dapat beroperasi telah dipenuhi. Karena syarat telah terpenuhi, simulasi dapat dilanjutkan kepada Analisis Transient dengan melakukan simulasi stabilitas tegangan. Pada simulasi stabilitas tegangan dilakukan dengan memvariasikan kondisi-kondisi penggunaan sumber pembangkit listrik pada kapal dan mengambil nilai serta grafik yang terbentuk dari hasil tersebut pada rancangan sistem hybrid di kapal penumpang *hybrid trimaran*.

### III.6 Analisa Data dan Pembahasan

Dari hasil perancangan *single line* sistem hybrid pada *software transient stability*, didapatkan hasil simulasi Stabilitas Tegangan yang dilakukan. Dilakukan analisis bagaimana stabilitas tegangan pada pembangkit listrik hybrid ketika dilakukan variasi pengoperasian pembangkit listrik diterapkan pada kapal penumpang ini menggunakan *wind turbine*, *photovoltaic*, dan *diesel engine generator*. Dan dari hasil tersebut dilakukan analisis bagaimana kondisi transient terutama stabilitas tegangan pada pengoperasian pembangkit listrik hibrid.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### IV.1 Gambaran Umum

Pada tugas akhir ini penulis memodelkan sistem kelistrikan/ *Single Line Diagram* kapal *trimaran cargo passenger ship* dengan menggunakan salah satu *software* analisis transien yang penulis gunakan pada tugas akhir ini. Data perancangan perhitungan kebutuhan listrik yang telah diperhitungkan sebelumnya penulis cek dan melakukan koreksi pada beberapa item yang terdapat pada data tersebut serta diperlengkap. Simulasi yang penulis lakukan bertujuan untuk menganalisis kestabilan sistem ketika menggunakan pembangkit listrik *hybrid* dengan memvariasikan sumber listrik yang dialirkan kedalam sistem. Pada simulasi juga akan dicoba kondisi sitem yang mengalami gangguan-gangguan besar seperti generator lepas (*generator outage*), *starting motor*, dan gangguan hubung singkat (*short circuit*).

Sistem kelistrikan kapal penumpang trimaran ini secara umum menggunakan sistem interkoneksi. Sistem ini digunakan untuk meningkatkan keandalan sistem ketika sistem mengalami gangguan. Keuntungan dari sistem interkoneksi ini adalah beberapa generator dapat menyalurkan daya ke beban sehingga memungkinkan beban mendapat suplai lebih dari 1 sumber listrik.

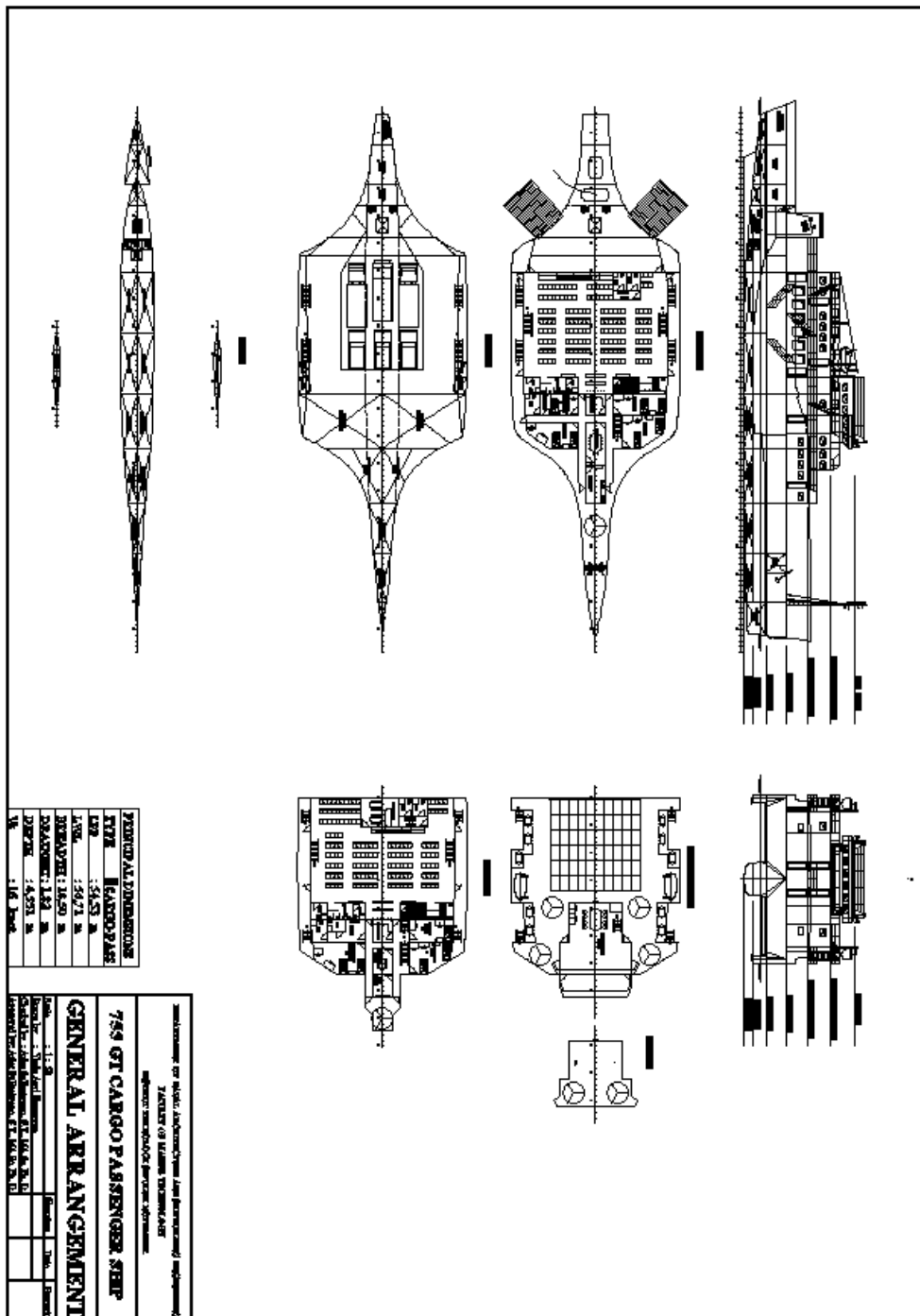
Kapal penumpang trimaran ini memiliki *bus* utama dan *bus* cabang yang diintegrasikan ke dalam sistem interkoneksi dan distribusi ring. Tegangan tersebut kemudian digunakan untuk motor-motor listrik, beban penerangan, beban komunikasi, beban navigasi, dan sebagainya.

### IV.2 Data Kapal

Dimensi utama dari kapal penumpang trimaran yang menjadi objek tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Kapal

Tipe Kapal		:	Trimaran Cargo Pessenger Ship	
Panjang Keseluruhan	(Loa)	:	58,8	m
Panjang Antara Garis Tegak	(Lpp)	:	54,53	m
Panjang Sarat Air	(Lwl)	:	56,71	m
Lebar	(B)	:	18,5	m
Tinggi	(H)	:	4,551	m
Sarat Air	T	:	1,82	m
Kecepatan Dinas	(Vs)	:	16,00	Knot
Kelas		:	BKI	



Gambar 4. 1 General Arrangement Trimaran Cargo Passenger Ship

Dan pada gambar 4.2 adalah *miniature* dari kapal penumpang trimaran ini yang telah dirancang dan telah ditentukan ukurannya pada tugas akhir “Perencanaan Kapal Penumpang Barang Tipe Trimaran Untuk Pelayaran Antar Pulau : Studi Kasus Pelayaran Kalianget-Kangean-Sapeken-Masalembu” (Hermawan, 2012)



Gambar 4. 2 *Miniatur* Kapal Penumpang *Hybrid* Trimaran

#### IV.3 Analisis Perhitungan *Electrical Load*

Kebutuhan kelistrikan pada kapal Trimaran *General Cargo Passenger Ship* dikelompokkan menjadi 4 *Bus* utama yaitu sistem machinery part, deck machinery part, refrigeration and ventilation part, deck machinery part, dan electrical equipment. Dimana electrical part dibagi menjadi 2 bagian terdiri dari peralatan navigasi dan radio komunikasi serta lampu – lampu penerangan. Berdasarkan data yang didapat, dilakukan beberapa revisi. Dilakukan pemilihan spek motor serta alat listrik lainnya berdasarkan data hitungan yang telah didapatkan sebelumnya. Setelah revisi data perhitungan komponen listrik dilakukan, didapatkan kebutuhan listrik yang dibutuhkan kapal kapal Trimaran *General Cargo Passenger Ship*. Total kebutuhan listrik pada sistem machinery part dan deck machinery part adalah sebesar 140,25 Kw, kebutuhan listrik refrigeration and ventilation part adalah sebesar 18,4 Kw, kebutuhan listrik deck machinery part adalah sebesar 119,8 Kw, dan peralatan navigasi serta komunikasi adalah sebesar 5,28 Kw. Sedangkan total kebutuhan lampu penerangan adalah sebesar 14,31 Kw seperti tercantum pada tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4. 2 Daftar Beban Listrik Pada Kapal Trimaran

Kebutuhan Listrik	kW
Sistem Machinery Part	140,25
Deck Machinery Part	120
Electrical Part	19,6
Refrigeration and Ventilation Part	18,4

Tabel 4.3 Daftar Peralatan Listrik Pada Kapal Trimaran (1)

<b>a</b>	<b>Engine Service</b>				
	HFO Transfer Pump	2	7,500	0,95	7,895
	HFO Feed Pump	2	0,750	0,95	0,789
	HFO supply Pump	2	1,500	0,95	1,579
	HFO Circulating Pump	2	3,700	0,95	3,895
	DO Feed Pump	2	1,500	0,95	1,579
	Main LO Pump	2	7,500	0,95	7,895
	LO Feed Pump	2	0,750	0,95	0,789
	Cylinder LO Pump	2	0,750	0,95	0,789
	SW Cooling Pump	2	8,500	0,95	8,947
	Central Cooling Water Pump	2	8,500	0,95	8,947
	Jacket water Cooling Pump	2	8,500	0,95	8,947
	Air Compressor	2	10,800	0,95	11,368
	Heater FO Feed Pump	2	36,000	0,95	37,895
	Heater FO Circulating Pump	2	20,000	0,95	21,053
<b>b</b>	<b>General Service</b>				
	FW Sanitary Hydrohore & Pump	2	1,5	0,95	1,579
	SW Sanitary Hydrohore & Pump	2	1,5	0,95	1,579
	Sewage Pump	2	1,5	0,95	1,579
	Bilge and Ballast Pump	2	8,5	0,95	8,947
	Fire Pump	2	11	0,95	11,579
<b>a</b>	<b>Refrigerating and Ventilation</b>				
-	<b>Accommodation Supply Fan</b>				
	Car Deck	2	1,1	0,95	1,158
	Main Deck	2	1,1	0,95	1,158
	Passanger Deck	2	1,1	0,95	1,158
	Navigation Deck	1	1,1	0,95	1,158
	Engine Room	1	1,1	0,95	1,158
-	<b>Accommodation Exhaust Fan</b>				
	Car Deck	2	1,1	0,95	1,158
	Main Deck	2	1,1	0,95	1,158
	Passanger Deck	2	1,1	0,95	1,158
	Navigation Deck	1	1,1	0,95	1,158
	Engine Room	1	1,1	0,95	1,158
	Central AC System	1	5,00	0,95	5,263
	Refrigerated Equipment	1	2,40	0,95	2,526
<b>b</b>	<b>Deck Machinery</b>				
	Steering Gear	1	48,000	0,95	50,526
	Windlass	2	27,000	0,95	28,421
	Capstain	2	5,000	0,95	5,263
	Cargo Winch (Crane)	1	22,000	0,95	23,158
	Boat Winch	4	3,800	0,95	4,000
	Electro Motor for Hatch Cover	2	5,000	0,95	5,263
	Electro motor for Ramp Door	2	4,000	0,95	4,211
	Accommodation Ladder Winch	2	5,000	0,95	5,263

Tabel 4. 4 Daftar Peralatan Listrik Pada Kapal Trimaran (2)

<b>a Lighting and Stop Kontak</b>			
Car Deck	1		0,22
Main Deck	1		7,09
Passanger Deck	1		5,39
Navigation Deck	1		0,70
Engine Room	1		0,60
Anchor Light	1		0,04
Stern Light	1		0,040
Mast Head Light	2		0,070
Side Light	2		0,070
Morse Light	1		0,040
Not Under Command Light	1		0,010
Compass Deck (Top Deck)	1		0,040
<b>b Nautical, Communication &amp; Safety</b>			
AIS	1	0,168	
Radio Equipment	1	0,250	
Gyro Compass	1	0,080	
Echo Sounder	1	0,05	
Radar	1	4,00	
Alarm Communication	1	0,250	
Fire and Smoke Detector	1	0,250	
General Alarm	1	0,0500	
Interior Communication	1	0,030	
Motor Sirine & Motor Horn	1	0,150	

#### IV.4 Analisis Pemilihan Generator

Pemilihan generator ditentukan berdasarkan hasil perhitungan Macam kondisi operasional kapal, Load Faktor setiap peralatan, dan Diversity factor. Dari perhitungan tersebut didapatkan hasil kebutuhan beban listrik pada kapal yaitu :

Tabel 4.5 Kebutuhan Beban Listrik Kapal Trimaran

No	Equipment	Sailing	Manouvering	Anchor Mooring	Loading Unloading
1	MACHINERY PART : Continue load	84,42	85,39	3,95	32,16
	: Intermitten load	27,51	18,76	98,90	17,92
2	HULL PART : Continue load	26,57	26,57	16,46	63,62
	: Intermitten load	0,00	0,00	49,21	12,80
3	ELECTRICAL PART : Continue load	16,04	16,18	16,19	10,01
	: Intermitten load	0,67	0,71	0,67	0,59
4	Total Used Power(d) : Continue load	127,03	128,15	36,60	105,79
	: Intermitten load	28,18	19,47	148,78	31,31
5	Broken Factor (e) 0,6 x (d) intermitter	16,91	11,68	89,27	18,79
6	Total Load : (d) continue + ( e )	143,93	139,83	125,87	124,57
7	Work Generator kW x S.set	88 x 2	88 x 2	88 x	88 x 2
8	Work Capacity	176	176	176	176
9	Availaible Generator kW x S.set	88 x 2	88 x 2	88 x	88 x 2
10	Load Factor (f)/(h) x 100%	81,78	79,45	71,52	70,78
11	Shore Connection(1.15 x Total Load Loading Uni	-	-		143,26

Setelah diketahui total kebutuhan beban listrik, kemudian dilakukan perbandingan dan dipilih generator pada tabel dibawah ini yang memiliki nilai load factor antara 80-85% untuk operasi yang efisien.

Tabel 4.6 Generator Terpilih Kohler KD 110

Spek	Generator
Power (KW)	88
Voltage (Volt)	380
Rotation (RPM)	1500
Frequency (Hz)	50
Model	Kohler
Type	KD 110
Quantity	3

#### IV.5 Penentuan Panel Surya (*Photovoltaic*)

Panel surya yang digunakan pada tugas akhir ini didapatkan berdasarkan data tugas akhir “Perencanaan Kapal Penumpang Barang Tipe Trimaran Untuk Pelayaran Antar Pulau : Studi Kasus Pelayaran Kalianget-Kangean-Sapeken-Masalembu”. Variasi panel surya yang dilakukan dari data yang didapatkan terdapat 5 pilihan, dengan dilakukan sedikit revisi data pada pemilihan panel surya yang tidak memiliki *project guide*. Berdasarkan rumus

$$PPV = t \times n \times P_{max}$$

Keterangan : PPV = Besarnya daya yang dihasilkan fotovoltaiik  
 t = Peak intensitas matahari  
 n = Jumlah panel surya yang dipasang  
 P = Kapasitas daya yang mampu dihasilka satu panel surya

Dengan asumsi nilai t selama 5 jam.

Tabel 4.7 5 Pilihan Panel Surya

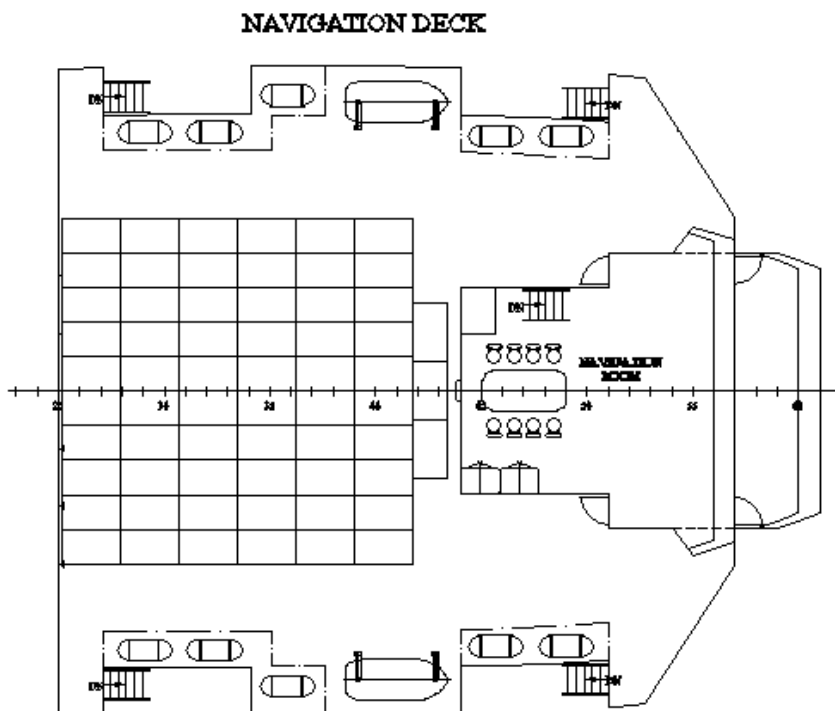
Jenis	Power	L (m)	W(m)	H (m)	Luas (m2)	Jumlah Pane	Daya yang Dihasilkan		
PV 1	20	0,69	0,29	0,023	0,203742	586	58552,37	58,55237	0,406806
PV 2	50	0,84	0,54	0,028	0,4509	244	60989,13	60,98913	0,423736
PV 3	80	1,21	0,55	0,035	0,66163	166	66502,43	66,50243	0,462041
PV 4	120	1,5	0,66	0,046	0,992338	111	66509,6	66,5096	0,462091
PV 5	240	1,66	0,99	0,042	1,635459	63	75600,0	75,6000	0,525248
Rata-rata							65630,71	65,63071	0,455984

Dari 5 pilihan tersebut, telah terpilih PV 5 dengan jenis monokristal sebagai panel surya yang dipasang pada kapal *hybrid* trimaran. Dengan hasil perhitungan daya yang dihasilkan sebesar 75,6 KW yang dapat dihasilkan dan salurkan selama 5 jam

Tabel 4. 8 Panel Surya Terpilih

Sunivan ART 205-60-3		
Maximum power =	240	Watt
Type	Mono-crystalline	
Maximum voltage =	29,48	V
Maximum current =	8	A
Sort circuit current =	8,52	A
Open circuit voltage =	37,5	V
Maximum system voltage =	1000	V
Ukuran panel surya, l =	1657	mm
w =	987	mm
h =	42	mm
Weigth =	19	kg

Pemasangan panel surya berada di navigation deck seperti gambar berikut :



Gambar 4.3 Penempatan Panel Surya di Navigation Deck

## IV.6 Penentuan Turbin Angin (*Wind Turbine*)

### IV.6.1 Perhitungan Turbin Angin

Data kecepatan angin rata-rata yang berada di provinsi Jawa Timur terdapat di angka 5,02 knot. Dengan asumsi peletakan turbin angin pada ketinggian 15 meter pada kapal diatas permukaan laut, didapatkan nilai kecepatan angin rata-rata yaitu 5,23 knot. Lalu didapatkan nilai resultan kecepatan pada kapal *hybrid* trimaran sebesar **16, 83 Knot** atau **sebesar 8,65 m/s**.

Turbin angin yang di pergunakan untuk tugas akhir ini dipilih berdasarkan asumsi ukurannya dapat diletakan pada kapal. Didapatkan pilihan yang diasumsikan sesuai yaitu :

Tabel 4. 9 Spesifikasi Turbin Angin

<b>Spesifikasi Turbin Angin</b>		
Merk	Aeolos	
Type	Vertical WT	
Model	Aeolos V 3KW	
Rated Power	3000	W
Cut In Wind Speed	2,5	m/s
Rated Wind Speed	10	m/s
Survival Wind Speed	55	m/s
Blade Quantity	3	
Rotor Height	3	m
Rotor Width	2,4	m
Weight	106	kg
Rotation	320	RPM
Swept Area	7,2	m <sup>2</sup>

Dari data tersebut dapat dihitung *power coefficient*/efisiensi turbin angin ( $\eta$ ) dengan rumus :

$$\eta = P / \frac{1}{2} A \rho v^3$$

Keterangan :

$\eta$  = *power coefficient*

P = Daya turbin angin (3000 Watt)

A = Swept area wind turbine (7,2 m<sup>2</sup>)

$\rho$  = Massa jenis udara (1,225 kg/m<sup>3</sup>)

v = *rated wind speed* (10 m/s)

Didapatkan nilai *power coefficient* sebesar = **0,68**.



Setelah itu dilakukan perhitungan daya maksimal yang bisa di keluarkan turbin angin terpilih pada kecepatan angin dari hasil perhitungan resultan kecepatan angin dan kecepatan kapal pada nilai 16,83 knot atau 8,65 m/s. Perhitungan dengan rumus :

$$P = \frac{1}{2} A \rho v^3$$

Keterangan :

P = Daya maksimal

A = Swept area wind turbine (7,2 m<sup>2</sup>)

$\rho$  = Massa jenis udara (1,225 kg/m<sup>3</sup>)

v = *rated wind speed* (8,65 m/s)

Didapatkan nilai daya maksimal sebesar **2862,97 Watt**.

Setelah diketahui nilai daya maksimal dari sesuai resultan kecepatan dan nilai *coefficient power* pada turbin angin terpilih, maka dapat diketahui nilai daya aktual yang dapat di hasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 8,65 m/s dalam kecepatan kapal 16 knot di ketinggian 15 m diatas permukaan laut. Nilai daya aktual yang dihasilkan oleh turbin angin sebesar :

$$P = \frac{1}{2} A \rho \eta v^3$$

Keterangan :

P = Daya turbin angin

A = Swept area wind turbine (7,2 m<sup>2</sup>)

$\rho$  = Massa jenis udara (1,225 kg/m<sup>3</sup>)

$\eta$  = *power coefficient* (0,68)

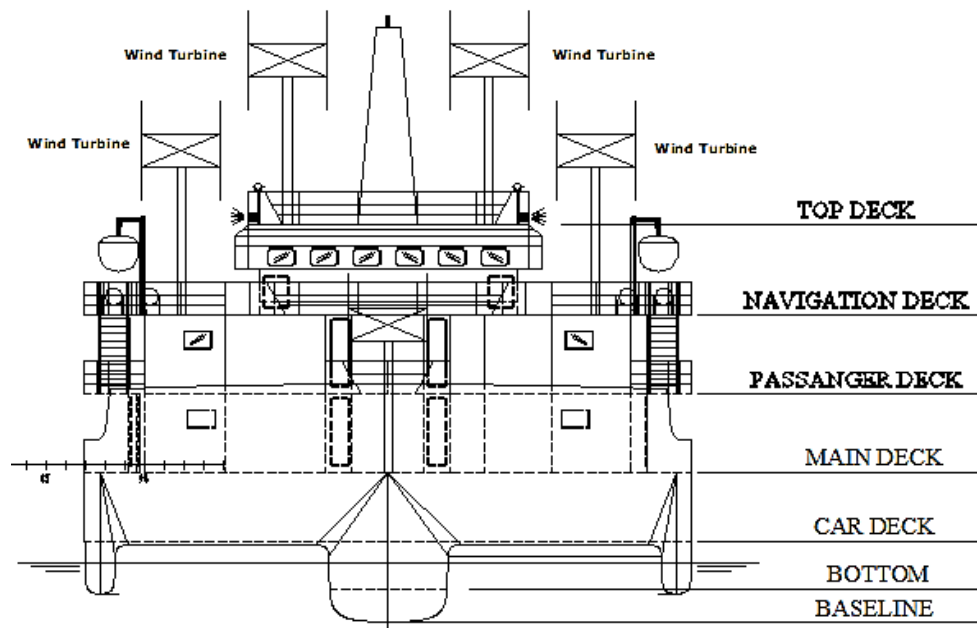
v = *rated wind speed* (8,65 m/s)

Didapatkan nilai Daya aktual sebesar **1947,6 Watt**.

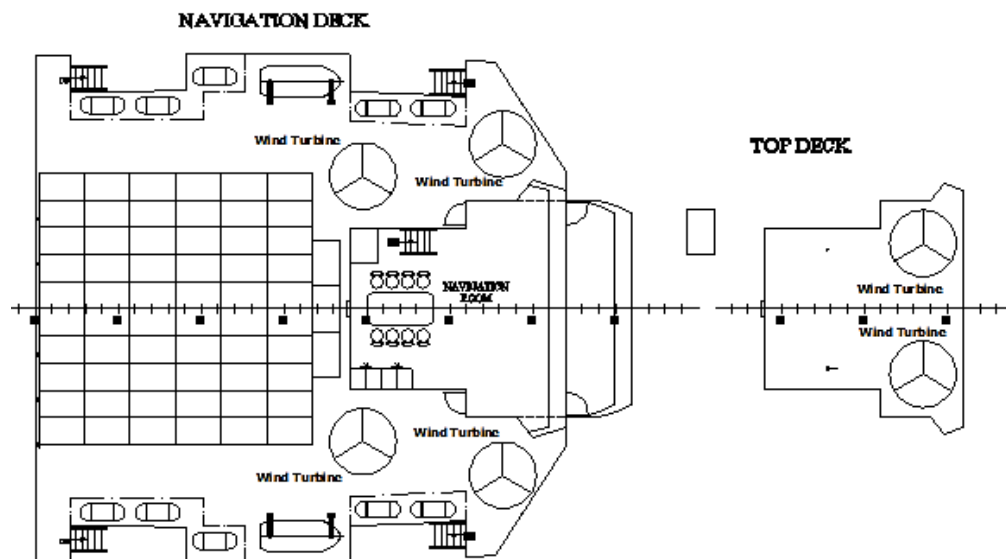
Pada simulasi stabilitas tegangan di *software transient analysis*, daya yang di masukan adalah daya sesuai spek dari turbin angin sebesar 3000 Watt. Hal ini dikarenakan *software* akan mengkalkulasikan sendiri daya output yang dapat dikeluarkan turbin angin pada simulasi stabilitas tegangan.

#### IV.6.2. Peletakan Turbin Angin di Kapal *Hybrid* Trimaran

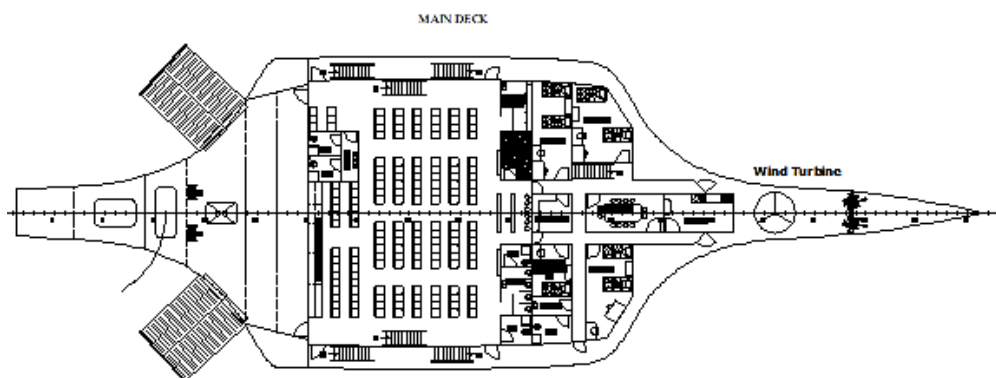
Peletakan turbin angin pada kapal *hybrid* trimaran disesuaikan dengan ruang kosong yang berada di open deck. Turbin angin dapat di pasang pada kapal dan berjumlah 7 buah. Terletak di navigation deck 6 buah dan di main deck 1 buah.



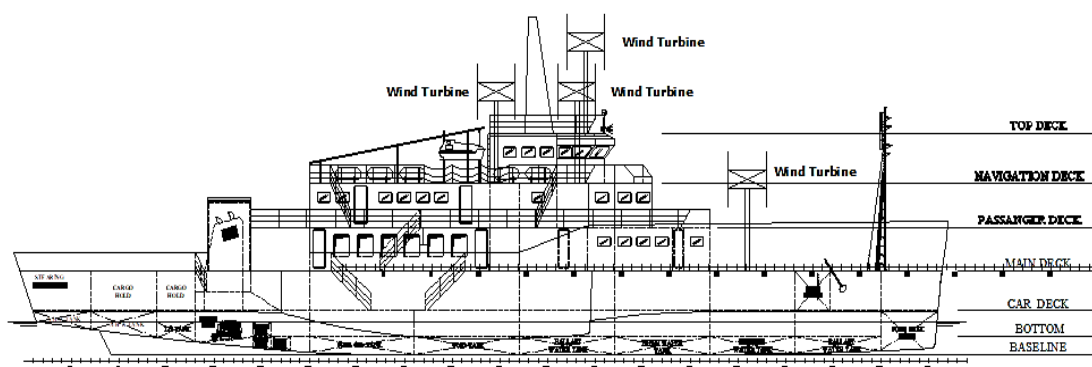
Gambar 4.4 Tampak Depan Kapal *Hybrid* Trimaran



Gambar 4.5 Tampak Atas *Navigation Deck*



Gambar 4. 6 Tampak Atas *Main Deck*



Gambar 4. 7 Tampak Samping Kapal *Hybrid Trimaran*

#### IV.7 Penggambaran *Single Line Diagram* Pada *Software Transient Analysis*

Penggambaran *single line diagram* dilakukan pada salah satu *software transient analysis* yang sering digunakan untuk mengetahui hasil dari permodelan desain kelistrikan sebelum diterapkan secara nyata. Data yang digunakan pada simulasi ini adalah data perhitungan *electrical load* yang telah didapatkan dan direvisi sebelumnya. *Software* ini merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung kinerja sistem tenaga listrik. Fitur yang terdapat pada *software* ini sangat beragam. Antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi, dan sistem distribusi tenaga listrik. Pada *software* ini juga dapat digunakan dalam kondisi *online* atau *offline*. Online maksudnya *software* ini dapat menjadi control *real time* untuk suatu sistem tenaga listrik. Untuk *offline* adalah melakukan permodelan. Pada *software* ini juga selain untuk mengetahui *analisis load flow* dan *analisis transient* dari suatu sistem kelistrikan, *software* ini dapat melakukan simulasi seperti *short circuit*, *motor acceleration*, *analisis keadaan harmonic*, dan lain-lain.

Sebelum melakukan simulasi *analisis transient* pada *software* ini, syarat utama untuk melakukan simulasi tersebut adalah dengan mensimulasikan terlebih dulu pada *analisis load flow* pada kondisi *sailing*. Jika simulasi *load flow* berjalan tanpa masalah, maka baru dapat dilakukan simulasi *analisis transient*. Pada gambar 4.8 adalah hasil penggambaran *single line diagram* serta hasil dari simulasi *load flow*.

Gambar 4. 8 *Single Line Diagram* dan hasil simulasi *load flow*

#### IV.8 Perencanaan Studi Kasus Kapal Trimaran *General Cargo Passenger Ship*

Pengujian sistem pembangkit listrik *hybrid* berfungsi untuk mengetahui respon sistem kelistrikan terhadap gangguan-gangguan yang mungkin terjadi. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis sistem dengan cara memberikan gangguan pada sistem kelistrikan. Gangguan-gangguan ini akan dicari tahu terlebih dahulu. Karena pengoperasian sistem pembangkit listrik *hybrid* yang akan dilakukan antara lain adalah terjadi perubahan mendadak pada pembangkit dan *starting motor*. Kondisi kapal yang menjadi objek simulasi kali ini adalah saat kapal kondisi *sailing*/berlayar. Selain memiliki nilai kebutuhan beban yang paling besar, hal ini dapat diaplikasikan karena untuk mengetahui penggunaan turbin angin dan panel surya.

Studi kasus yang akan dilakukan pada tugas akhir ini secara umum adalah sebagai berikut:

a. Variasi Penggunaan Pembangkit Listrik Hybrid di Kapal

Hal ini bukan termasuk gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan. Namun perlu dilakukan simulasi untuk variasi penggunaan pembangkit listrik *hybrid* agar dapat diketahui bagaimana kondisi stabilitas tegangannya saat pembangkit listrik *hybrid* beroperasi.

Tabel 4. 10 Studi Kasus Penggunaan Pembangkit Listrik *Hybrid*

No.	Studi Kasus	Keterangan
1a.	Panel Surya beroperasi sendiri	1 sumber pembangkit dioperasikan pada “ <i>Bus PV WT</i> ”
2a.	Generator Dan Panel Surya Beroperasi Bersama	2 sumber pembangkit dioperasikan bersama-sama pada “ <i>Bus Gen PV WT</i> ”.
3a.	Panel Surya dan Turbin Angin Beroperasi Bersama.	2 sumber pembangkit dioperasikan bersama-sama pada “ <i>Bus PV WT</i> ”
4a.	Generator dan Turbin Angin beroperasi Bersama	2 sumber pembangkit dioperasikan bersama-sama pada “ <i>Bus PV WT</i> ”
5a.	Turbin Angin, Panel Surya Dan Diesel Generator Beroperasi Bersama	3 sumber pembangkit dioperasikan secara bersama-sama pada “ <i>Bus Gen PV WT</i> ”.

b. Perubahan Mendadak Pada Pembangkit Pembangkit Listrik *Hybrid*

Pada saat kapal kondisi berlayar, akan dilakukan percobaan dengan mengganti jenis pembangkit listrik yang disalurkan dari salah satunya antara turbin angin, panel surya, dan diesel generator. Pengoperasiannya divariasikan disaat sistem sedang beroperasi. Akan ditentukan pada detik ke berapa terjadi *close* atau *open* pada sumber yang akan divariasikan. Setelah itu respon nilai stabilitas tegangan pada kondisi *transient* dan *steady*

*state* akan dilihat untuk mengetahui apakah sistem berjalan sesuai dengan standar yang telah ada. Respon sistem yang akan dipantau antara lain adalah respon tegangan sesaat setelah sistem mengalami gangguan.

Tabel 4.11 Studi Kasus Perubahan Mendadak Pembangkit Listrik *Hybrid*

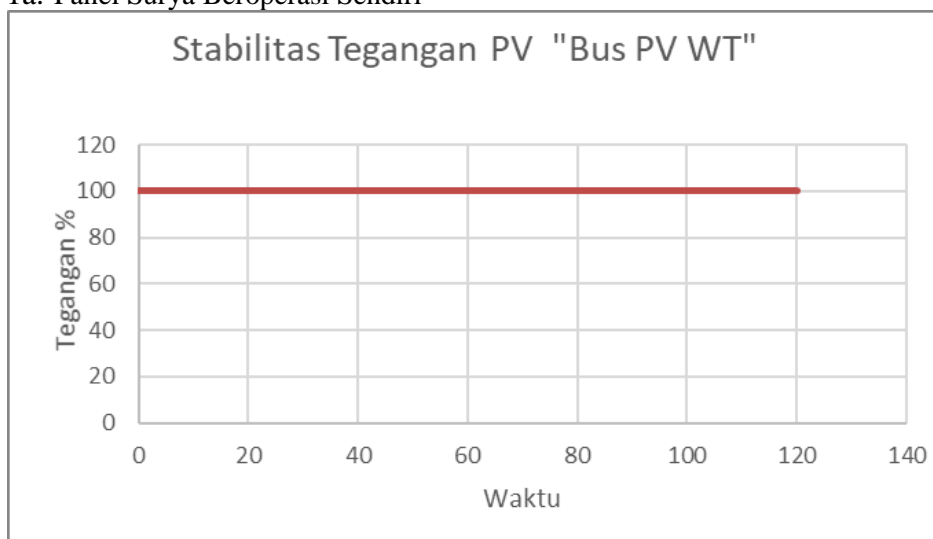
No.	Studi Kasus	Keterangan
1b.	Panel Surya Operasi. Panel Surya <i>open</i> dan Generator <i>close</i> pada " <i>Bus Gen PV WT</i> "	Pada detik ke 10 terjadi perubahan pada " <i>Bus Gen PV WT</i> ". Waktu simulasi 60 detik
2b.	Generator operasi. Generator <i>open</i> dan Panel Surya <i>close</i> pada " <i>Bus Gen PV WT</i> "	Pada detik ke 10 terjadi perubahan pada " <i>Bus Gen PV WT</i> ". Waktu simulasi 30 detik
3b.	Panel Surya dan turbin Angin operasi setelah itu <i>open</i> , Generator <i>close</i> pada " <i>Bus Gen PV WT</i> "	Pada detik ke 60 terjadi perubahan pada " <i>Bus Gen PV WT</i> ". Waktu simulasi 100 detik
4b.	Generator dan Turbin Angin Operasi. Generator <i>open</i> , Panel Surya <i>close</i> pada " <i>Bus Gen PV WT</i> "	Pada detik ke 10 terjadi perubahan pada " <i>Bus Gen PV WT</i> ". Waktu simulasi 60 detik
5b.	Generator dan Panel Surya Operasi. Generator <i>open</i> , Turbin Angin <i>close</i> pada " <i>Bus Gen PV WT</i> "	Pada detik ke 10 terjadi perubahan pada " <i>Bus Gen PV WT</i> ". Waktu simulasi 60 detik
6b.	Generator Operasi. Generator <i>open</i> , Turbin Angin dan Panel Surya <i>close</i> pada " <i>Bus Gen PV WT</i> "	Pada detik ke 10 terjadi perubahan pada " <i>Bus Gen PV WT</i> ". Waktu simulasi 100 detik

## IV.9 Analisis Hasil Simulasi Stabilitas Tegangan

Pada simulasi stabilitas tegangan pada *software transiet analysis* ini, dilakukan analisis dari hasil simulasi yang telah direncanakan studi kasusnya. Hasil simulasi tersebut didapatkan dengan memfokuskan stabilitas tegangan pada “*Bus Gen PV WT*”. Yaitu busbar yang mempertemukan aliran daya dari generator, turbin angin, dan panel surya. Pada busbar ini kemudian dihubungkan dengan kabel serta *low circuit breaker* ke busbar *electrical part* dan *refrigeration and ventilation part*. Kedua busbar itu memang di desain dapat disuplai oleh turbin angin dan panel surya. Namun terdapat *low circuit breaker* yang menghubungkan generator dengan “*bus GEN PV WT*”. Pada busbar ini dilakukan pengecekan berbentuk simulasi dengan studi kasus yang telah direncanakan.

### IV.9.1. Simulasi Variasi Penggunaan Pembangkit Listrik Hybrid di Kapal

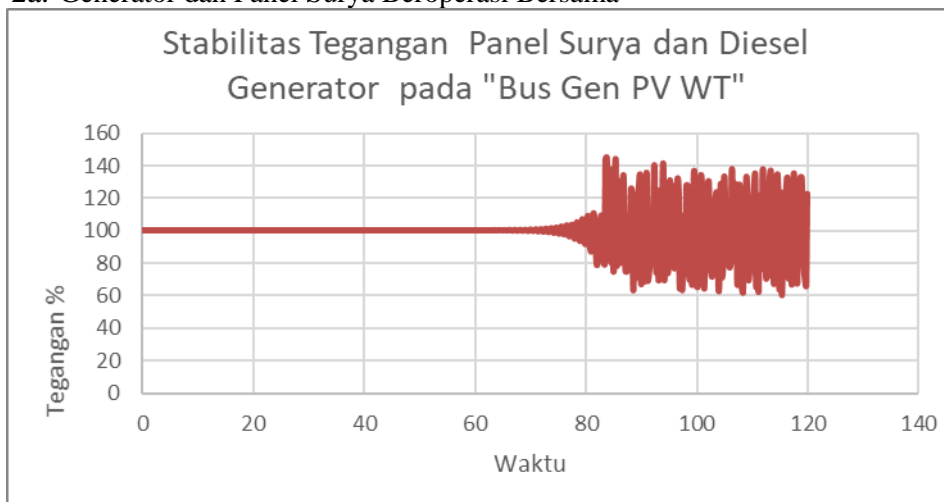
#### 1a. Panel Surya Beroperasi Sendiri



Gambar 4.9 Panel Surya Beroperasi Sendiri

Pada percobaan simulasi pertama yaitu studi kasus 1 pada gambar 4.9. dapat terlihat pengoperasian panel surya pada “*Bus Gen PV WT*” hasilnya tidak terjadi gangguan pada pengoperasian studi kasus ini, oleh sebab itu tidak terjadi kondisi tegangan *transient*. Dan nilai tegangan *steady state* memenuhi standar IEEE Std 45-2002, 4.5. Dalam simulasi ini dijalankan jika sistem bekerja selama 120 detik. Dan selama waktu tersebut tidak terjadi kondisi transient pada studi kasus ini dan tegangan (*user voltage tolerance*) dalam kondisi stabil.

## 2a. Generator dan Panel Surya Beroperasi Bersama

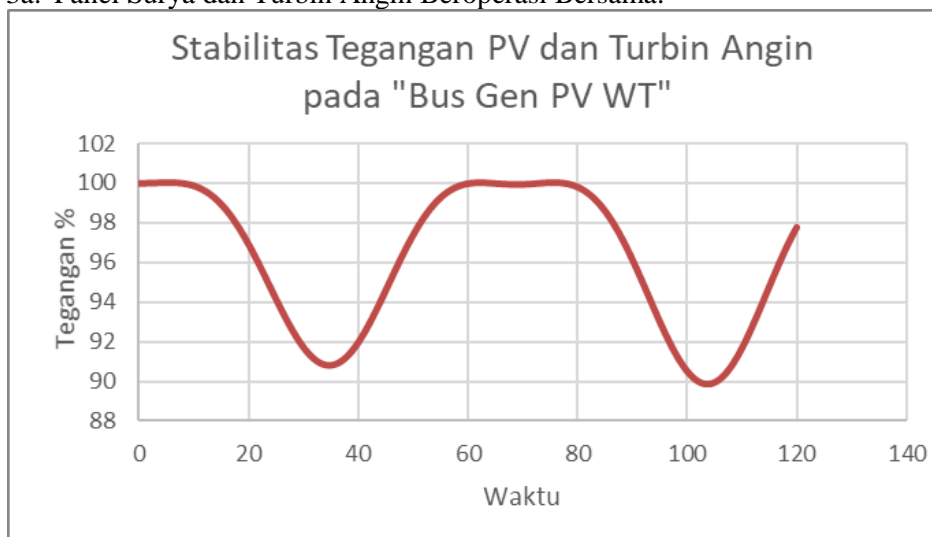


Gambar 4.10 Generator dan Panel Surya Beroperasi Bersama

Pada gambar 4.10 studi kasus ini pada “*Bus Gen PV WT*” ditunjukkan selama simulasi berjalan hingga detik ke 75, tegangan yang dihasilkan dari 2 sumber pembangkit listrik tersebut berada dalam kondisi stabil dan memenuhi standar tegangan *stady state* pada IEEE Std 45-2002, 4,5. Namun saat memasuki detik ke 76 mulai terjadi gangguan pada sistem ini dan terjadi tegangan kondisi *transient* namun tidak memenuhi standar. Dimulai dari detik 76 terlihat grafik terlihat hingga detik ke 120. Titik tertinggi pada grafik diatas terjadi pada detik ke 83,8 dimana nilai persentase tegangan mencapai 144,87% dengan nilai tegangan 550,506 Volt. Dan titik terendah terjadi pada detik ke 115,4 dengan nilai persentase tegangan 60,82% dengan nilai tegangan 231,14 Volt. Hal ini mengakibatkan tegangan sistem pada “*Bus Gen PV WT*” mengalami ketidak stabilan tegangan dan kondisi transientnya dan tegangan tidak stabil setelah terjadi gangguan tidak memenuhi standar. Terjadi *undervoltage* dan *overvoltage* secara bergantian dalam jeda yang sangat singkat. Namun hal ini tentu tidak aman bagi peralatan listrik yang beroperasi dan kondisi transientnya tidak dapat dimaklumi dan nilai tegangan (*user voltage tolerance*) tidak stabil.



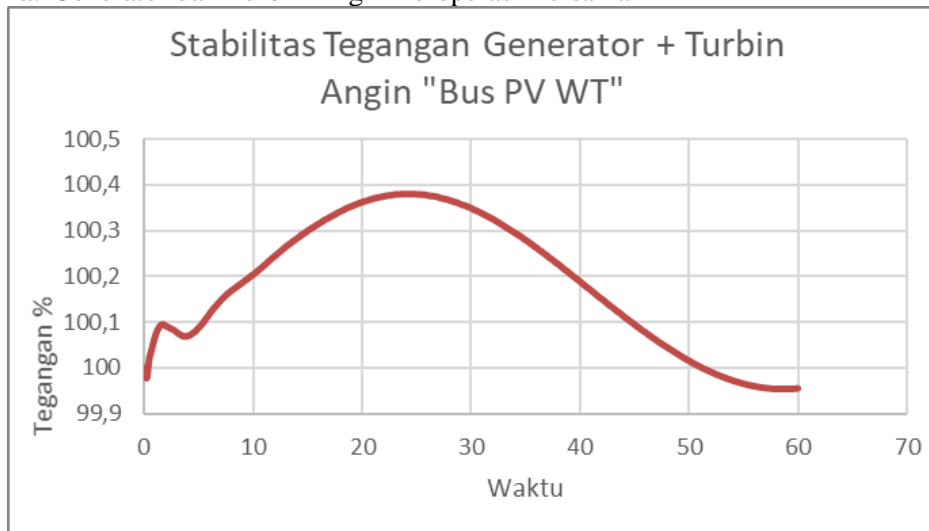
### 3a. Panel Surya dan Turbin Angin Beroperasi Bersama.



Gambar 4.11 Panel Surya dan Turbin Angin Beroperasi Bersama

Pada Gambar 4.11 studi kasus ini pada “*Bus Gen PV WT*” ditunjukkan selama simulasi berjalan selama 120 detik, grafik tegangan yang dihasilkan dari 2 sumber pembangkit listrik tersebut berada dalam kisaran 90%-100% dengan membentuk seperti gelombang sinusoida. Dapat dilihat pada grafik bahwa kurang lebih dalam rentang 60 detik kondisi nilai presentase tegangan berada di titik terendah. Pada detik 34,6 nilai presentase berada di angka 90,83 % dan nilai tegangan 345,15 Volt dan detik ke 103,8 berada di angka 89,88 % pada nilai tegangan 341,56 Volt. Sedang kan puncak atau titik tertinggi tegangan terjadi pada detik ke 62 dengan persentase 100,032 % dengan nilai 380,12 Volt. Memang terjadi kondisi transient. Namun pada standar transien dilihat dari nilai toleransi tegangan transient telah memenuhi namun *recovery time* tidak memenuhi pada IEEE Std 45-2002, 4.5. Dan untuk *user voltage tolerance* setelah terjadi transient tidak memenuhi standar juga.

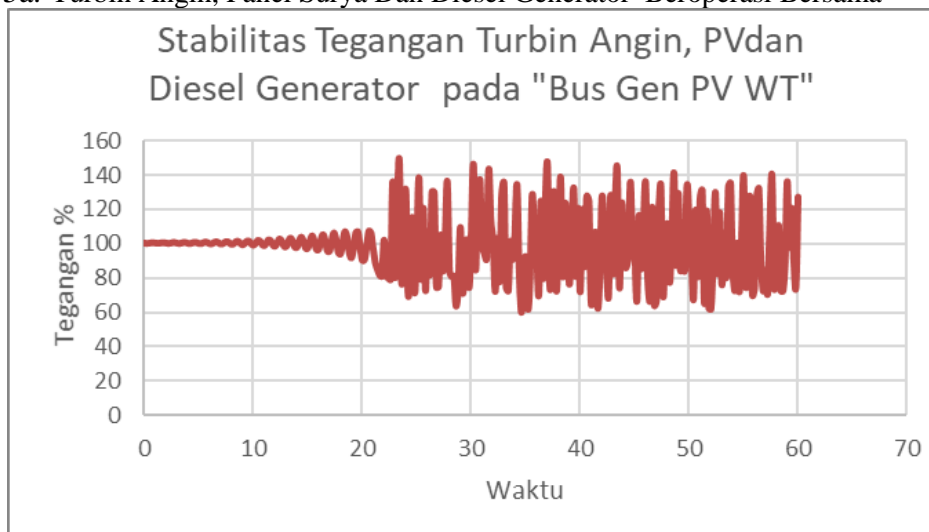
#### 4a. Generator dan Turbin Angin Beroperasi Bersama



Gambar 4.12 Generator dan Turbin Angin Beroperasi Bersama

Pada Gambar 4.12 studi kasus Generator dan Turbin Angin Beroperasi Bersama pada “Bus Gen PV WT” ditunjukkan selama simulasi berjalan selama 60 detik, grafik tegangan yang dihasilkan dari 2 sumber pembangkit listrik tersebut berada dalam kisaran 99%-100,4%. Memang terjadi kondisi transien pada detik ke 1,6. Namun transien tersebut dapat dimaklumi. Dapat disimpulkan telah memenuhi standar untuk *recovery time* dan nilai toleransi tegangan transien pada IEEE Std 45-2002, 4.5. Dan untuk *user voltage tolerance* setelah terjadi transien telah memenuhi standar pula.

#### 5a. Turbin Angin, Panel Surya Dan Diesel Generator Beroperasi Bersama

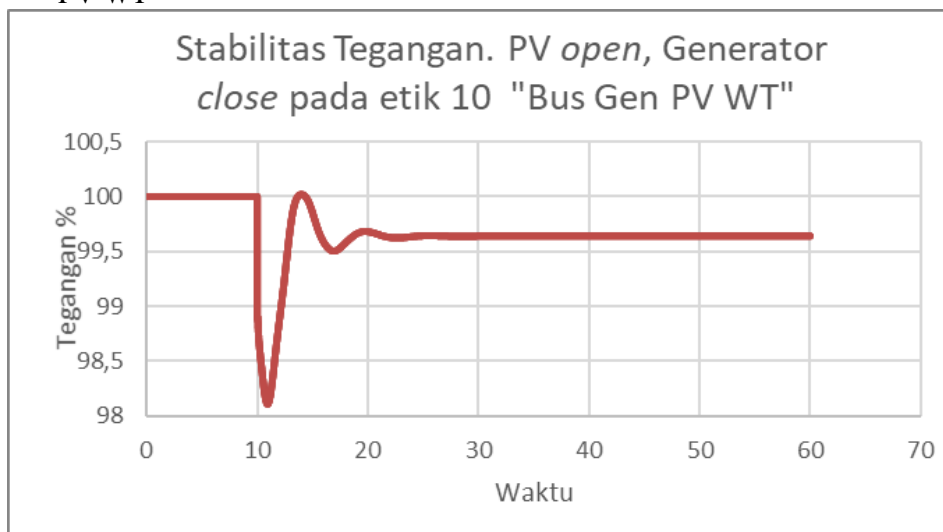


Gambar 4.13 Generator, Turbin Angin, dan Panel Surya Beroperasi Bersama

Pada Gambar 4.13 studi kasus Generator, Turbin Angin dan Panel Surya Beroperasi Bersama pada “*Bus Gen PV WT*” ditunjukkan selama simulasi berjalan hingga detik ke 10, tegangan yang dihasilkan dari 2 sumber pembangkit listrik tersebut terlihat mulai fluktuatif di rentang persentase 101%-98%. Mulai detik 23,4 terjadi *overvoltage* hingga persentase tegangan berada di angka 148,2% dengan nilai 563,35 Volt. Mulai sejak itu grafik dari sistem ini terlihat semakin fluktuatif setelah terjadi kondisi transient. Dan berada di angka persentase terendah (*undervoltage*) di detik 34,6 yaitu 59,62% dengan nilai 226,28 Volt. Hal ini mengakibatkan tegangan sistem pada “*Bus Gen PV WT*” mengalami ketidak stabilan tegangan setelah terjadi gangguan. Terjadi *undervoltage* dan *overvoltage* secara bergantian dalam jeda yang singkat setelah detik ke 10. Memang terjadi kondisi transient yang diakibatkan penggunaan generator dan panel surya secara bersamaan dan setelah kondisi transient *user voltage tolerance* tidak dalam kondisi *steady state*. Hal ini tentu tidak aman bagi peralatan listrik yang beroperasi. Dapat disimpulkan bahwa studi kasus ini tidak memenuhi standar tegangan transient untuk *recovery time* dan nilai toleransi tegangan transient, serta standar tegangan stabil (*user voltage tolerance*) setelah terjadi transient tidak memenuhi pada IEEE Std 45-2002, 4,5.

#### IV.9.2. Simulasi Perubahan Mendadak Pada Pembangkit Listrik Hybrid di Kapal

1b. Panel Surya Operasi. Panel Surya *open* dan Generator *close* pada “*Bus Gen PV WT*”

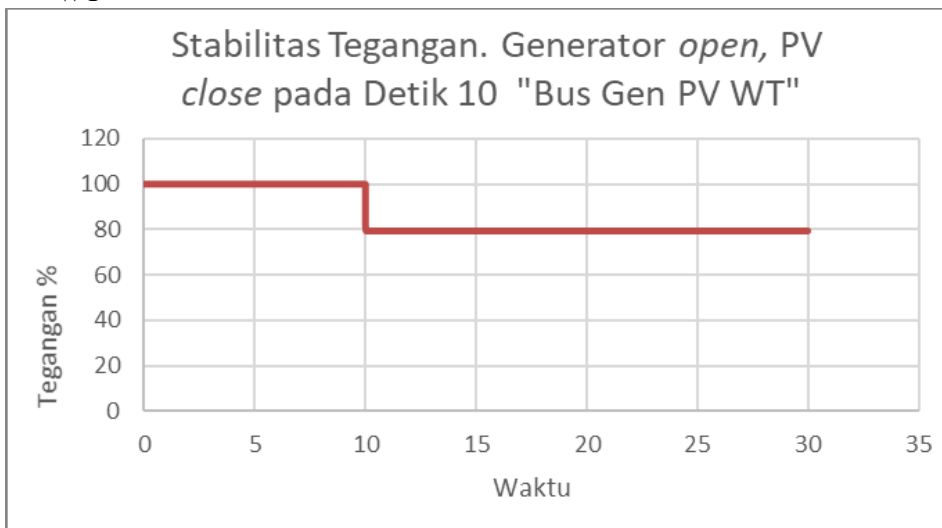


Gambar 4.14 Panel Surya Operasi. Panel Surya *open* dan Generator *close* pada “*Bus Gen PV WT*”

Pada studi kasus 1b pada “*Bus Gen PV WT*” yaitu dilakukan uji coba jika pada kondisi sailing pada awalnya menggunakan panel surya untuk mendistribusikan daya pada “*bus GEN PV WT*”. Lalu diasumsikan kondisi lingkungan menyebabkan kinerja panel surya turun dan diganti pengoperasiannya oleh generator. Pada simulasi ini dilakukan pada detik ke 10 dimana panel surya dilepas dari system dan generator masuk ke dalam “*bus Gen PV WT*” untuk mengganti sumber listrik yang sebelumnya di berikan

panel surya. Pada grafik diatas terlihat pengaruh dari stabilitas tegangannya dan ini dapat dikatakan kondisi transient. Pada detik 10,941 detik terjadi drop tegangan pada kondisi transient yang menyebabkan nilai persentase tegangan berada di angka 98,1% dengan nilai 376 Volt. Tegangan kembali stabil diangka persentase 99,6% dengan nilai 378,48 Volt. Hal ini tentu memenuhi standar nilai toleransi tegangan transient namun tidak memenuhi standar *recovery time* yaitu terjadi transient diatas 2 detik sesuai IEEE Std 45-2002, 4.5. Maka perlu penanganan agar nilai *recovery time* dapat memenuhi standar. Untuk stabilitas tegangan setelah kondisi transient telah memenuhi standar IEEE Std 45-2002, 4.5.

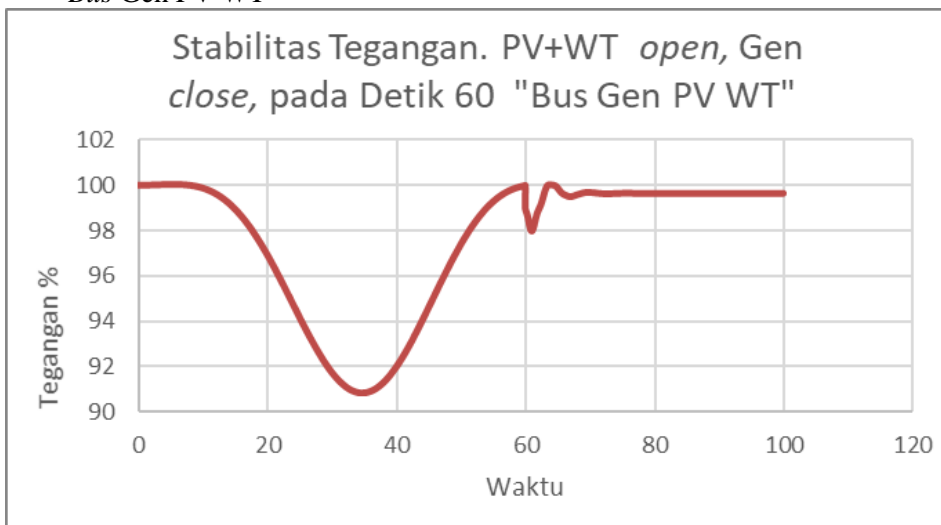
2b. Generator operasi. Generator open dan Panel Surya close pada "Bus Gen PV WT"



Gambar 4.15 Generator operasi. Generator open dan Panel Surya close pada "Bus Gen PV WT"

Pada studi kasus 2b pada "Bus Gen PV WT" yaitu dilakukan uji coba jika pada kondisi sailing pada awalnya menggunakan panel surya untuk mendistribusikan daya pada "bus GEN PV WT". simulasi selama 30 detik. Lalu diasumsikan kondisi lingkungan menyebabkan kinerja panel surya turun dan diganti pengoperasiannya oleh generator. Pada simulasi ini dilakukan pada detik ke 10 dimana panel surya dilepas dari system dan generator masuk ke dalam "bus Gen PV WT" untuk mengganti sumber listrik yang sebelumnya di berikan panel surya. Pada grafik diatas terlihat pengaruh dari stabilitas tegangannya dan terjadi kondisi transient. Kesimpulan dari studi kasus 2b yaitu telah memenuhi standar untuk *recovery time* namun tidak memenuhi nilai toleransi tegangan transient pada IEEE Std 45-2002, 4.5 yang seharusnya nilai toleransi berada di angka  $\pm 16$  %. Dan pada IEEE Std 45-2002, 4.5 nilai tegangan stabil (*user voltage tolerance*) atau drop voltage dari sumber yang disalurkan ke bus tidak boleh kurang dari 5%. Sehingga pengoperasian sesuai studi kasus ini perlu dilakukan kajian lagi agar dapat beroperasi sesuai standar.

3b. Panel Surya dan turbin Angin operasi setelah itu *open*, Generator *close* pada "Bus Gen PV WT"

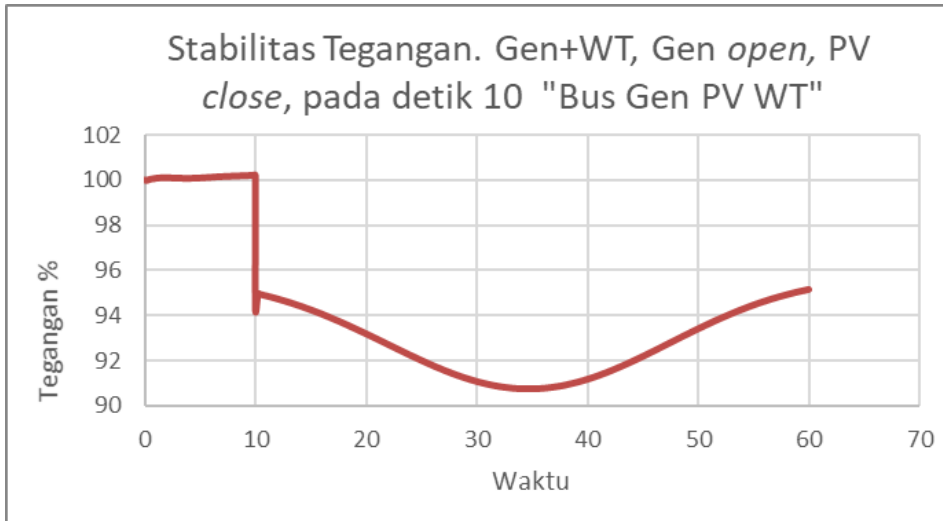


Gambar 4.16 Panel Surya dan turbin Angin operasi setelah itu *open*, Generator *close* pada "Bus Gen PV WT"

Pada studi kasus 3b pada "Bus Gen PV WT" diasumsikan saat kondisi sailing menggunakan panel surya dan turbin angin untuk "Bus Gen PV WT" selama 100 detik. Namun diasumsikan terjadi kondisi cuaca yang tidak mendukung kinerja dari kedua sumber tersebut, dan perlu dipindahkan suplai daya pada "Bus Gen PV WT" oleh generator. Jika melihat kembali studi kasus 3a, bahwa stabilitas tegangan untuk penggunaan panel surya dan turbin angin masih belum pada kondisi stabil sehingga dapat diberikan *voltage control* pada bus.

Pada studi kasus 3b ini dilakukan pelepasan panel surya dan turbin angin di detik ke 60. Dan saat bersamaan generator di *close* untuk menyalurkan daya pada "Bus Gen PV WT". Saat detik 61,21 detik terjadi drop tegangan yang menyebabkan nilai persentase tegangan berada di angka 98% dengan nilai 372,71 Volt. Dan saat detik ke 70,81 terjadi drop tegangan lagi di angka 99,5% dengan nilai 378,6 Volt. Setelah itu tegangan kembali stabil diangka 378,6 Volt. Hal ini tentu memenuhi standar transient dari segi nilai toleransi tegangan transient namun tidak memenuhi *recovery time* yang melebihi 2 detik pada IEEE Std 45-2002, 4.5. Perlu teknologi untuk mengatasi *recovery time* agar memenuhi standar dan dikatakan kondisi transient sesuai standar. Untuk stabilitas tegangan (*user voltage tolerance*) setelah terjadi kondisi transient telah memenuhi standar.

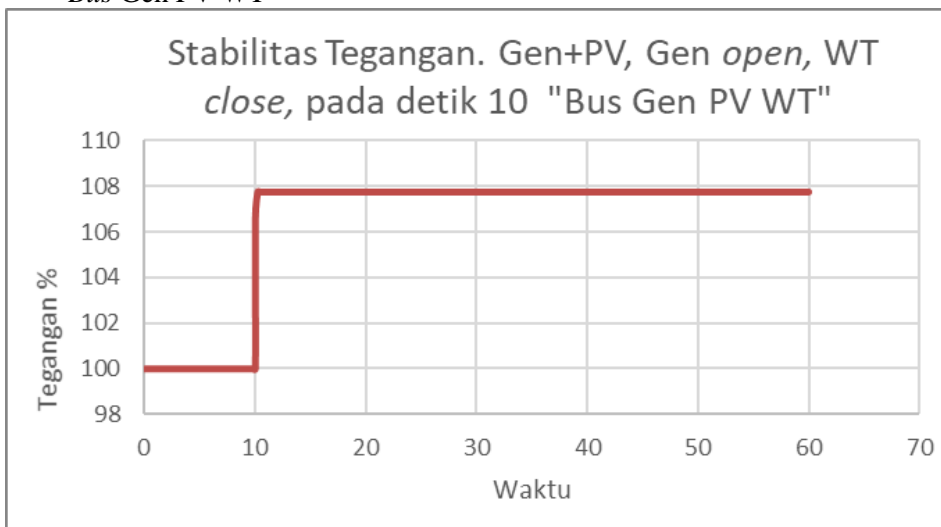
4b. Generator dan Turbin Angin Operasi. Generator *open*, Panel Surya *close* pada "Bus Gen PV WT"



Gambar 4.17 Generator dan Turbin Angin Operasi. Generator open, Panel Surya close pada "Bus Gen PV WT"

Pada studi kasus 4b pada "Bus Gen PV WT" diasumsikan menggunakan generator dan turbin angin saat operasi awal selama 60 detik. Lalu diasumsikan kondisi lingkungan sedang mendukung untuk mengoperasikan panel surya dan turbin angin secara bersamaan untuk mensuplai listrik pada "Bus Gen PV WT" dengan melepas generator pada detik ke 10 dan disaat bersamaan masuk panel surya. Pada grafik terlihat terjadi kondisi transient yang dapat dimaklumi. Titik terendah pada persentase 94,2% dengan nilai 357,4 Volt pada detik 10,01. Kondisi transient terjadi dan telah memenuhi standar IEEE Std 45-2002, 4,5 untuk *recovery time* dan nilai toleransi tegangan transient. Jika melihat kembali studi kasus 3a, bahwa stabilitas tegangan (*user voltage tolerance*) untuk penggunaan panel surya dan turbin angin masih belum pada kondisi stabil setelah terjadi kondisi transien sehingga tegangan tidak memenuhi standar tegangan *steady state*  $\pm 5\%$ .

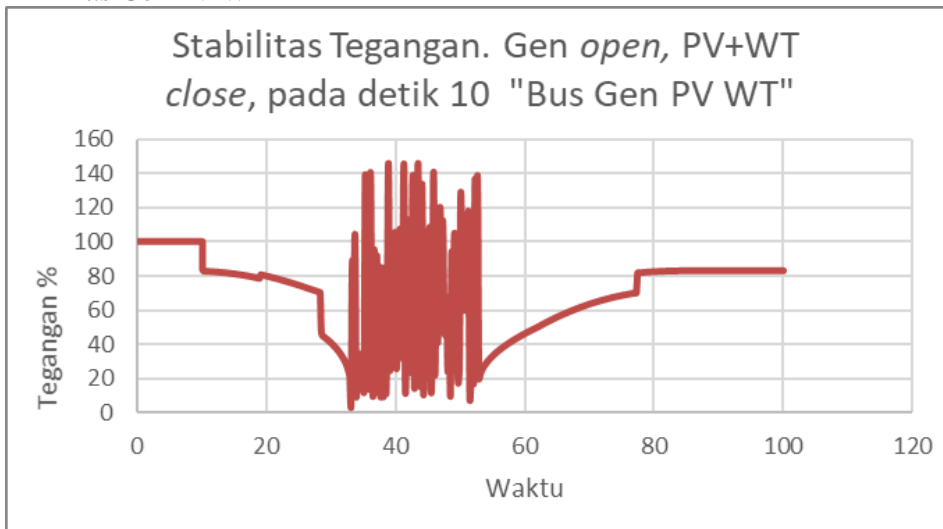
5b. Generator dan Panel Surya Operasi. Generator *open*, Turbin Angin *close* pada "Bus Gen PV WT"



Gambar 4.18 Generator dan Panel Surya Operasi. Generator *open*, Turbin Angin *close* pada "Bus Gen PV WT"

Pada studi kasus 5b pada "Bus Gen PV WT" menggunakan generator dan panel surya pada kondisi *sailing* selama 60 detik. Kemudian diasumsikan kondisi lingkungan dan cuaca sedang mendukung untuk mengoperasikan panel surya dan turbin angin secara bersamaan untuk mensuplai listrik pada "Bus Gen PV WT" dengan melepas generator pada detik ke 10 dan disaat bersamaan masuk turbin angin. Pada grafik terlihat terjadi kenaikan nilai tegangan 107,8% dengan nilai 409,55 Volt pada detik ke 10,21. Kemudian tegangan yang terdapat pada "Bus Gen PV WT" stabil dengan persentase 107,8% pada nilai 409,55 Volt. Untuk kondisi transient dapat dimaklumi. Namun pada simulasi studi kasus 5b ini, wind turbin tidak mengeluarkan daya. Hal ini belum diketahui alasannya. Namun berhubungan dengan pengaturan di *software* yang digunakam. Kesimpulan studi kasus ini adalah telah memenuhi standar untuk *recovery time* dan nilai toleransi tegangan transient di IEEE Std 45-2002, 4,5. Namun berdasarkan pada IEEE Std 45-2002, 4,5 . Nilai tegangan stabil (*user voltage tolerance*) atau *overvoltage* dari sumber yang disalurkan ke *bus* tidak boleh lebih dari 5%. Sehingga pengoperasian sesuai studi kasus ini perlu dilakukan kajian lagi agar dapat beroperasi sesuai standar.

6b. Generator Operasi. Generator *open*, Turbin Angin dan Panel Surya *close* pada "Bus Gen PV WT"



Gambar 4.19 Generator Operasi. Generator *open*, Turbin Angin dan Panel Surya *close* pada "Bus Gen PV WT"

Pada studi kasus 6b pada "Bus Gen PV WT" menggunakan generator pada kondisi *sailing* selama 100 detik. Diasumsikan kondisi cuaca dan lingkungan mendukung untuk mengoperasikan turbin angin dan panel surya secara bersamaan pada "Bus Gen PV WT". Dilakukan simulasi pada detik ke 10 generator lepas kemudian turbin angin. Terjadi kondisi transient saat perpindahan tersebut dan masih masuk dalam standar. Namun pengoperasian turbin angin dan panel surya selanjutnya terjadi ketidakstabilan tegangan. Terjadi *undervoltage* pada detik 33,81 dengan persentase 9,9% dengan nilai 37,69 Volt saja untuk titik terendah pada grafik yang membentuk seperti gelombang sinusoida. Dan persentase pada titik tertinggi (*overvoltage*) yaitu 143,85 % dengan nilai 546,65 Volt saat detik ke 43,41. Kemudian terjadi kondisi transient lagi saat detik ke 77,41. Setelah itu tegangan stabil di nilai persentase 82,9% dengan nilai 315,2 Volt. Kesimpulannya studi kasus 6 b memenuhi standar untuk *recovery time* namun tidak memenuhi nilai toleransi tegangan transient saat terjadi gangguan di detik ke 10 pada IEEE Std 45-2002, 4,5. Dan setelah terjadi kondisi transien tegangan (*user voltage tolerance*) tidak stabil sehingga tidak memenuhi standar tegangan stabil  $\pm 5\%$ .

#### IV.9.3 Hasil Simulasi Stabilitas Tegangan

Hasil dari simulasi yang telah dilakukan diatas dapat di ringkas menjadi 2 tabel yaitu tabel 4.12 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Standar pada Kondisi Tegangan Transient, dan tabel 4.13 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Standar Tegangan stabil setelah Kondisi Transient. Untuk grafik dan analisis lebih jelas dapat melihat dari sub bab IV.8 hingga IV.9.



Tabel 4.12 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Standar pada Kondisi Tegangan Transient

<i>Recovery Time</i>		
<i>Nilai Toleransi Tegangan Transientnya</i>	Tidak Memenuhi	Memenuhi
Tidak Memenuhi	2a, 5a	2b, 6b
Memenuhi	3a, 1b, 3b	1a, 4a, 4b, 5b

Tabel 4.13 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Standar Tegangan Stabil Setelah Kondisi Transient.

<i>User Voltage Tolerance</i>	
Memenuhi	1a, 4a, 1b, 2b, 3b
Tidak Memenuhi	2a, 3a, 5a, 4b, 5b, 6b

Dengan keterangan seperti berikut :

- Simulasi a adalah simulasi melakukan variasi penggunaan pembangkit listrik hybrid di kapal yang terdiri dari studi kasus :
  - 1a. Panel Surya Beroperasi Sendiri.
  - 2a. Generator dan Panel Surya Beroperasi Bersama.
  - 3a. Panel Surya dan Turbin Angin Beroperasi Bersama.
  - 4a. Generator dan Turbin Angin Beroperasi Bersama.
  - 5a. Turbin Angin, Panel Surya, dan Diesel Generator Beroperasi Bersama.
- Simulasi b adalah simulasi perubahan mendadak pada pembangkit listrik hybrid di kapal yang terdiri dari studi kasus :
  - 1b. Panel Surya Operasi. Panel Surya *open* dan Generator *close* pada "Bus Gen PV WT"
  - 2b. Generator operasi. Generator *open* dan Panel Surya *close* pada "Bus Gen PV WT"
  - 3b. Panel Surya dan turbin Angin operasi setelah itu *open*, Generator *close* pada "Bus Gen PV WT"
  - 4b. Generator dan Turbin Angin Operasi. Generator *open*, Panel Surya *close* pada "Bus Gen PV WT"
  - 5b. Generator dan Panel Surya Operasi. Generator *open*, Turbin Angin *close* pada "Bus Gen PV WT"
  - 6b. Generator Operasi. Generator *open*, Turbin Angin dan Panel Surya *close* pada "Bus Gen PV WT"

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis simulasi dengan salah satu *software transient analysis* yang difokuskan pada stabilitas tegangan pada sistem pembangkit listrik *hybrid*, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi ketika kondisi tegangan transient dikatakan memenuhi *recovery time* (2 detik) dan nilai toleransi tegangan transieninya ( $\pm 16\%$ ) yang sesuai standar IEEE Std 45-2002, 4,5 yaitu studi kasus **1a, 4a, 4b, dan 5b**.
2. Hasil simulasi nilai *user voltage tolerance* atau tegangan stabil setelah terjadi kondisi tegangan transient yang memenuhi sesuai standar IEEE Std 45-2002, 4,5 pada nilai  $\pm 5\%$  dari nilai tegangan nominal yaitu studi kasus **1a, 4a, 1b, 2b, dan 3b**.

#### V.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan tugas akhir, maka penulis merekomendasikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan perhitungan dan perbandingan secara detail dari *Wind Turbine* dan *Photovoltaic*.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan simulasi yang lebih banyak agar hasil analisis simulasi menjadi lebih akurat jika dapat memahami *software transient analysis* lebih dalam lagi yang digunakan penulis.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan perbandingan antara simulasi *software* dan perhitungan rumus agar mendapat hasil yang lebih akurat.
4. Perlu semacam teknologi atau dapat dilakukan penelitian dalam langkah pencegahan beserta solusi untuk mengatasi studi kasus yang tidak dapat memenuhi standar *recovery time* (2 detik) dan nilai toleransi tegangan transieninya ( $\pm 16\%$ ). Serta *user voltage tolerance* setelah kondisi transient terjadi yang tidak memenuhi standar IEEE Std 45-2002, 4.5 .

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

1. Aji, D. R. & Cahyadi, M. N., 2015. *Analisa Karakteristik Kecepatan Angin Dan Tinggi Gelombang Menggunakan Data Satelit Altimetri* (Studi Kasus : Laut Jawa). Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
2. Azzara, A., Rutherford, D. & Wang, H., 2014. Feasibility of IMO Annex VI Tier III implementation using Selective Catalytic Reduction. *INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION*, pp. 1-2.
3. BKI, 2016. *Volume IV Rules for Electrical Installations*. Jakarta: PT. Biro Klasifikasi Indonesia.
4. Daryanto, Y., 2007. *Kajian Potensi angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Yogyakarta: BALAI PPTAGG – UPT-LAGG.
5. Hermawan, Y. A., 2012. *Perencanaan Kapal Penumpang Barang Tipe Trimaran Untuk Pelayaran Antar Pulau : Studi Kasus Pelayaran Kalianget-Kangean-Sapeken-Masalembu*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
6. Islam, M. M., 2004. *Handbook to IEEE Standard 45 : A Guide to Electrical Installations on Shipboard*. New York: IEEE Press.
7. Kunaifi, 2010. *Program HOMER Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida di Provinsi Riau*. Yogyakarta, Seminar Nasional Informatika, FTI UPN "Veteran.
8. Kundur, P., 2014. IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions. *Definition and Classification of Power System Stability*, 19(3), pp. 1387-1401.
9. Legowo, E., 2017. *ANALISIS STABILITAS TEGANGAN PADA SISTEM KELISTRIKAN DI KAPAL GENERAL CARGO*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
10. Putri, D. P., 2016. *Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid (Sel Surya Dan Diesel Generator) Pada Kapal Tanker Pt. Pertamina (Persero) Perkapalan*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
11. Rachman, A., 2012. Analisis dan Pemetaan Energi Angin di Indonesia. *Universitas Indonesia*, p. ix.
12. Sarwito, S., 1995. *Perencanaan Instalasi Listrik Kapal*. Surabaya: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Proyek Peningkatan Perguruan Tinggi ITS.
13. Stewart, R. H., 2008. Introduction to Physical Oceanography. *Texas A&M University*.
14. Vennel, R., 2013. Exceeding the Betz limit. In: *Renewable Energy*, Elsevier, pp. 277-285.
15. Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, n.d. *Bidang Meteorologi Maritim*. [Online]  
[Accessed 05 02 2017].
16. Kementrian ESDM, 2010. [Online]  
[Accessed 06 01 2017].

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 = Perhitungan Electrical Load

#### a. Machinery Part

MACHINERY PART																	
Equipment	QTY	Power Estimation (KW)			Sailing			Maneuvering			Anchoring/Moorring			Loading Unloading			
		Out	Eff	In	Units Work	LF	Power (KW)		Units Work	LF	Power (KW)		Units Work	LF	Power (KW)		
							C.L.	I.L.			C.L.	I.L.			C.L.	I.L.	
a	Engine Service																
		2	7,500	0.95		7,895	1	0.8									
		2	0,750	0.95		0,789	1	0.7	0.55								
		2	1,500	0.95		1,579	1	0.8	1.26								
		2	3,700	0.95		3,895	1	0.85	3.31								
		2	1,500	0.95		1,579	1	0.80	1.26	1	0.80						
		2	7,500	0.95		7,895	1	0.70	5.53	1	0.70	5.53					
		2	0,750	0.95		0,789	1	0.70	0.55	1	0.70	0.55		1	0.6	1	0.47
		2	0,750	0.95		0,789	1	0.70	0.55	1	0.70	0.55					
		2	8,500	0.95		8,947	1	0.85	7.61	1	0.85	7.61		1	0.85	7.61	
		2	8,500	0.95		8,947	1	0.85	7.61	1	0.85	7.61		1	0.85	7.61	
		2	8,500	0.95		8,947	1	0.85	7.61	1	0.85	7.61		1	0.85	7.61	
		2	10,800	0.95		11,368	1	0.10	1.14	1	0.10	1.14		1	0.85	9.66	
		2	36,000	0.95		37,895	1	0.80	30.32	1	0.80	30.32		1	0.80	30.32	1
		2	20,000	0.95		21,053	1	0.80	16.84	1	0.80	16.84		1	0.80	16.84	1
b	General Service																
		2	1.5	0.95		1,579	1	0.85	1.34					1	0.85	1.34	
		2	1.5	0.95		1,579	1	0.85	1.34					1	0.85	1.34	
		2	1.5	0.95		1,579	1	0.85						1	0.85	1.34	
		2	8.5	0.95		8,947	1	0.85	7.61	1				1	0.85	7.61	1
		2	11	0.95		11,579	1	0.85	9.84	1	0.85			1	0.85	9.84	1
Sub Total Machinery Part		Continuous Load						84.42				85.39				32.16	
		Intermittent Load						27.51								98.90	
																17.92	





## c. Electrical Part




ELECTRICAL PART																
Equipment	Total	Power (KW)	Sailing			Manoeuvring			Anchor Mooring			Loading Unloading				
			Units Work	LF	Power (KW) C.L. I.L.	Units Work	LF	Power (KW) C.L. I.L.	Units Work	LF	Power (KW) C.L. I.L.	Units Work	LF	Power (KW) C.L. I.L.		
a Lighting and Stop Kontak																
Car Deck	1	0.22	1	0.8	0.18	1	0.8	0.18	1	0.8	0.18	1	0.7	0.16		
Main Deck	1	7.09	1	0.8	5.67	1	0.8	5.67	1	0.8	5.67	1	0.7	4.96		
Passanger Deck	1	5.39	1	0.8	4.31	1	0.8	4.31	1	0.8	4.31	1	0.7	3.77		
Navigation Deck	1	0.70	1	0.8	0.56	1	0.8	0.56	1	0.8	0.56	1	0.7	0.49		
Engine Room	1	0.60	1	1	0.60	1	1	0.60	1	1	0.60	1	1	0.60		
Anchor Light	1	0.04	1	1	0.04	1	1	0.04	1	1	0.04	1	1	0.04		
Stern Light	1	0.040	1	1	0.040	1	1	0.040	1	1	0.04	1	1	0.04		
Mast Head Light	2	0.070	1	1	0.070	2	1	0.140	2	1	0.14	2	1	0.14		
Side Light	2	0.070	1	1	0.070	2	1	0.140	2	1	0.14	2	1	0.14		
Morse Light	1	0.040	1	1	0.040	1	1	0.040	1	1	0.04	1	1	0.04		
Not Under Command Light	1	0.010	1	1	0.010	1	1	0.010	1	1	0.01	1	1	0.01		
Compass Deck (Top Deck)	1	0.040	1	1	0.040	1	1	0.040	1	1	0.04	1	1	0.04		
b Nautical, Communication & Safety																
AIS	1	0.168	1	0.8	0.13	1	0.8	0.13	1	0.8	0.13	1	0.8	0.13		
Radio Equipment	1	0.250	1	0.8	0.20	1	0.8	0.20	1	0.8	0.20	1	0.8	0.20		
Gyro Compas	1	0.080	1	0.8	0.06	1	0.8	0.06	1	0.8	0.06	1	0.8	0.06		
Echo Sounder	1	0.05				1	0.8			0.04		1	0.80	0.04		
Radar	1	4.00	1	1	4.00	1	1	4.00	1	1	4.00	1	1	4.00		
Alarm Communication	1	0.250	1	1		1	1		1	1		1	1			
Fire and Smoke Detector	1	0.250	1	1		1	1		1	1		1	1		0.25	
General Alarm	1	0.0500	1	1		1	1		1	1		1	1		0.25	
Interior Communication	1	0.030	1	0.5	0.02	1	0.5	0.02	1	0.5	0.02	1	0.5	0.02	0.05	
Motor Sirine & Motor Horn	1	0.150	1	0.8		1	0.8		1	0.8		1	0.8			
Continuous Load			16,04			16,18			16,19			10,01				
Intermittent Load												0,67			0,59	
Sub Total Electrical Part																
TOTAL (KW)			127,03			28,18			128,15			36,60			105,79 31,31	

## Lampiran 2 =Pemilihan Generator

### a. Tabel Pemilihan Generator

Generator Selection															
No.	Type	Rpm	kW	Sailing			Manouvering			Loading Unloading			Anchoring		
				Set	Load factor		Set	Load factor		Set	Load factor		Set	Load factor	
1	KOHLER			3	143,93 = 81,78		2	139,83 = 79,45		2	125,87 = 71,5		1	124,57 = 70,8	
	KD110	1500	88		88 X 2	88 X 2		88 X 2	88 X 2						
	Caterpillar														
2	C9.3 Marine Generator Set	1500	185	2	143,93 = 77,80		2	139,83 = 75,58		2	125,87 = 68,0		1	124,57 = 67,3	
			185 X 1		185 X 1	185 X 1		185 X 1							
3	KOHLER			2	143,93 = 82,2		2	139,83 = 79,90		2	125,87 = 71,9		1	124,57 = 71,2	
	175EFOZCJ	1500	175		175 X 1	175 X 1		175 X 1	175 X 1						
4	KOHLER	1500	66	2	143,93 = 72,69		2	139,83 = 70,62		2	125,87 = 63,6		3	124,57 = 62,9	
	KD 77		66 X 3		66 X 3	66 X 3		66 X 3							
	DEUTZ			2	143,93 = 80,0		2	139,83 = 77,68		2	125,87 = 69,93		1	124,57 = 69,2	
	ED - 250	1500	180		180 X 1	180 X 1		180 X 1	180 X 1						

## b. Spek Generator

**DESCRIPTIVE**

- ➔ Kohler Co. Provides one-source responsibility for the generating system and accessories
- ➔ The generator set and its components are prototype-tested, factory-built, and production-tested
- ➔ A one-year limited warranty covers all systems and components
- ➔ Mechanic governor
- ➔ Mechanically welded chassis with anti-vibration suspension
- ➔ Main line circuit breaker
- ➔ Radiator for core temperature of 45/50°C max with mechanical fan
- ➔ Protective grille for fan and rotating parts (CE option)
- ➔ 9 dBA(A) silencer supplied separately
- ➔ Charger DC starting battery with electrolyte
- ➔ 12 V charge alternator and starter
- ➔ Delivered with oil and coolant -30°C
- ➔ Manual for use and installation

**POWER DEFINITION**

PRP : Prime Power is available for an unlimited number of annual operating hours in variable load applications, in accordance with ISO 8528-1. ESP : The standby power rating is applicable for supplying emergency power in variable load applications, in accordance with ISO 8528-1. Overload is not allowed.

**TERMS OF USE**

According to the standard, the nominal power assigned by the generator is given for 25°C Air Inlet Temperature, of a barometric pressure of 100 kPa (100 in A.S.L.) and 30 % relative humidity. For particular conditions in your installation, refer to the operating table.

**ASSOCIATED UNCERTAINTY**

For the generator sets used indoors, where the acoustic pressure levels depend on the installation conditions, it is not possible to specify the ambient noise level in the operating and maintenance instructions. You will also find in our operating and maintenance instructions a warning concerning the air noise dangers and the need to implement appropriate preventive measures.

**KD110**

Engine type	4045HF120
Alternator type	KH00011T
Performance class	G3

**GENERAL CHARACTERISTICS**

Frequency (Hz)	50
Voltage (V)	400/230
Standard control panel	APM303
Optional control panel	DEC4000
Optional control panel	M80

**POWER**

Voltage	ESP		PRP		Standby Amps
	KWe	KVA	KWe	KVA	
415/240	88	110	80	100	153
400/230	88	110	80	100	159
380/220	88	110	80	100	167
200/115	88	110	80	100	318
240 TRi	88	110	80	100	265
230 TRi	88	110	80	100	279
220 TRi	88	110	80	100	289
220/127	79	99	72	90	280

**DIMENSIONS COMPACT VERSION**

Length (mm)	1950
Width (mm)	1084
Height (mm)	1330
Dry weight (kg)	1187
Tank capacity (L)	190

**DIMENSIONS SOUNDPROOFED VERSION**

Commercial reference of the enclosure	M129
Length (mm)	2554
Width (mm)	1150
Height (mm)	1680
Dry weight (kg)	1587
Tank capacity (L)	190
Acoustic pressure level @1m in dB(A)	78
Sound power level guaranteed (Lwa)	95
Acoustic pressure level @7m in dB(A)	68


### Lampiran 3 = Pemilihan Panel Surya (*Photovoltaic*)

#### a. Tabel Pilihan Panel Surya

Jenis	Power	L (m)	W(m)	H (m)	Luas (m2)	Jumlah Pane	Daya yang Dihasilkan		
PV 1	20	0,69	0,29	0,023	0,203742	586	58552,37	58,55237	0,406806
PV 2	50	0,84	0,54	0,028	0,4509	244	60989,13	60,98913	0,423736
PV 3	80	1,21	0,55	0,035	0,66163	166	66502,43	66,50243	0,462041
PV 4	120	1,5	0,66	0,046	0,992338	111	66509,6	66,5096	0,462091
PV 5	240	1,66	0,99	0,042	1,635459	63	75600,0	75,6000	0,525248
Rata-rata							65630,71	65,63071	0,455984


#### b. Spek Panel Surya

Electrical Data (Nominal)				
The electrical data apply to standard test conditions (STC): Irradiance of 1000 W/m² with AM 1.5 spectra at 25°C.				
Power Classification (Max.)	Pmax (W)	235	240	245
Voltage at Max. Power Point	Vmp (V)	29.48	29.62	29.80
Current at Max. Power Point	Imp (A)	8.00	8.12	8.25
Open Circuit Voltage	Voc (V)	37.50	37.62	37.68
Short Circuit Current	Isc (A)	8.52	8.55	8.57
The rated power may only vary by -0/+4.89 Wp and all other electrical parameters by ± 5%				
Dimensions and Weights				
Cells / Module	60			
Module Dimensions	1657 x 987 mm; 65.24 x 38.86 in.			
Module Thickness (Depth)	42 mm; 1.65 in.			
Approximate Weight	19 kg; 42 lbs.			
Characteristic Data				
Type of Solar Cell	High-efficiency Suniva® 3 busbar monocrystalline cells of 156 x 156 mm			
Frame	Silver anodized aluminum alloy			
Glass	Low-iron & tempered with anti-reflective coating			
Junction Box	IP67 rated; IEC & UL listed; with internal bypass diodes			
Cable & Connectors	4 mm² cable with MC4 connectors; cable length approximately 1 m			
Temperature Coefficients				
Voltage	β, Voc (%/°C)	-0.332		
Current	α, Isc (%/°C)	+0.035		
Power	γ, Pmax (%/°C)	-0.465		
Limits				
Max. System Voltage	1000 VDC			
Operating Module Temperature	-40°C to +90°C			
Storm Resistance	Pending certification to meet IEC 61215 for loads up to 5400 Pa			
Suniva® reserves the right to change the data at any time.				



The Brilliance of Solar Made Sensible

5775 Peachtree Industrial Boulevard, Norcross, GA 30092  
+1 404 477 2700, +1 404 477 2709 (fax)  
www.suniva.com



Mixed Sources  
Product group from well-managed  
forests and other controlled sources  
www.fsc.org Cert no. SA-COC-1592  
© 2008 Forest Stewardship Council

06/09/10

#### Lampiran 4 = Pemilihan Turbin Angin (*Wind Turbine*)

- a. Data Iklim Harian 22 Oktober 2016 – 22 Oktober 2017, Provinsi Jawa Timur (BMKG.go.id)

Nama Stasiun	WMO ID	Tanggal	Lama Penyi- naran (jam)	Kecep- atan Angin Rata- rata (knot)	Arah Angin Terba- nyak (deg)	Kecepa- tan Angin Terbes- ar (knot)	Arah Angin Saat Kecepatan Maksimu- m (deg)
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	22/10/2016	0	4	E	4	80
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	23/10/2016	1,4	2	N	2	120
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	24/10/2016	0,6	7	N	7	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	25/10/2016	0,6	3	N	3	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	26/10/2016	1,8	4	N	4	220
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	27/10/2016	5,8	3	N	3	260
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	28/10/2016	0	3	N	3	320
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	29/10/2016	4,5	3	N	3	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	30/10/2016	9,1	3	N	3	200
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	31/10/2016	9,8	3	SE	3	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	01/11/2016	9,5	3	N	3	150
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	02/11/2016	5,2	3	N	3	140
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	03/11/2016	4,9	2	N	2	250
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	04/11/2016	7	3	N	3	260
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	05/11/2016	6,9	5	N	5	60
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	06/11/2016	9,4	4	N	4	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	07/11/2016	7,4	6	N	6	60
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	08/11/2016	1,1	3	N	3	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	09/11/2016	2,4	4	SW	4	210
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	10/11/2016	0	4	N	4	40
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	11/11/2016	1,9	4	N	4	250
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	12/11/2016	8,9	4	N	4	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	13/11/2016	0,8	3	N	3	150
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	14/11/2016	5,5	3	N	3	240
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	15/11/2016	3,3	2	N	2	280
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	16/11/2016	2,8	3	N	3	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	17/11/2016		2	N	2	140
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	18/11/2016	4,7	4	N	4	120

Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	19/11/2016	0	3	E	3	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	20/11/2016	9,1	5	E	5	120
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	21/11/2016	10	4	NE	4	70
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	22/11/2016	2	2	N	2	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	23/11/2016	0	4	N	4	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	24/11/2016	6,1	2	N	2	150
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	25/11/2016	1	3	N	3	40
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	26/11/2016	6,9	4	SE	4	140
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	27/11/2016	10,2	5	N	5	140
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	28/11/2016	9,7	3	N	3	270
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	29/11/2016	4,9	4	NW	4	250
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	30/11/2016	1,9	5	NW	5	200
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	01/12/2016	0	7	SW	7	230
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	02/12/2016	3,6	6	NW	6	230
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	03/12/2016	0	3	SW	3	240
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	04/12/2016	4,2	5	NW	5	310
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	05/12/2016	1	6	NW	6	310
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	06/12/2016	0,1	6	N	6	290
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	07/12/2016	0	3	NW	3	280
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	08/12/2016	2	4	NW	4	310
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	09/12/2016	1,1	6	NW	6	240
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	10/12/2016	0	3	W	3	250
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	11/12/2016	0,4	7	NW	7	240
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	12/12/2016	0	7	N	7	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	13/12/2016	0,6	7	N	7	240
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	14/12/2016	0	6	NW	6	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	15/12/2016	0,1	4	NW	4	250
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	16/12/2016	4,5	3	NW	3	290
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	17/12/2016		6	NW	6	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	18/12/2016	2,2	6	NW	6	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	19/12/2016	0	8	W	8	310
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	20/12/2016	2,6	6	NW	6	310
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	21/12/2016	1,5	9	NW	9	310
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	22/12/2016	8,1	8	NW	8	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	23/12/2016	8,7	9	NW	9	310
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	24/12/2016	9,8	6	NW	6	290
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	25/12/2016	2,1	6	NW	6	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	26/12/2016	2,6	3	NW	3	290
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	27/12/2016	0,8	7	W	7	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	28/12/2016	6,4	4	NW	4	260
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	29/12/2016	2,9	6	NW	6	280
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	30/12/2016	1,4	4	NW	4	290
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	31/12/2016	0	7	NW	7	230
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	01/01/2017	0,5	5	NW	5	240
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	02/01/2017	7,4	4	W	4	260
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	03/01/2017	5,7	7	NW	7	270

Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	04/01/2017	7,7	5	NW	5	310
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	05/01/2017	4,4	5	NW	5	320
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	06/01/2017	2,2	12	NW	12	260
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	07/01/2017	0,4	5	NW	5	310
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	08/01/2017	10,7	4	N	4	290
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	09/01/2017	10,3	3	N	3	290
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	10/01/2017	8,8	6	W	6	250
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	11/01/2017	7,5	9	W	9	220
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	12/01/2017	8,9	5	W	5	270
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	13/01/2017	1,2	4	NW	4	280
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	14/01/2017	2	6	W	6	260
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	15/01/2017		7	NW	7	310
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	16/01/2017	0	7	NW	7	280
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	17/01/2017	0	4	NW	4	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	18/01/2017	0	3	N	3	250
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	19/01/2017	3,2	6	NW	6	250
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	20/01/2017	5,6	4	W	4	250
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	21/01/2017	6,1	6	NW	6	240
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	22/01/2017	7,6	5	NW	5	280
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	23/01/2017	6,3	5	NW	5	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	24/01/2017	0	5	NW	5	280
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	25/01/2017	2,5	9	NW	9	290
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	26/01/2017	1,5	6	NW	6	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	27/01/2017	1,1	7	NW	7	310
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	28/01/2017	7,6	8	NW	8	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	29/01/2017	1,3	7	NW	7	310
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	30/01/2017	0	5	N	5	270
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	31/01/2017	2,3	5	W	5	290
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	01/02/2017	0,9	11	NW	11	270
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	02/02/2017	3,4	8	NW	8	290
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	03/02/2017	1	7	W	7	270
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	04/02/2017	0	8	NW	8	310
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	05/02/2017	7,8	7	NW	7	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	06/02/2017	0,3	10	NW	10	310
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	07/02/2017	5,4	9	NW	9	310
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	08/02/2017	6,2	7	NW	7	290
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	09/02/2017	0,2	6	NW	6	320
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	10/02/2017	0	5	NW	5	250
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	11/02/2017	0,5	6	NW	6	310
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	12/02/2017	1,7	5	W	5	250
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	13/02/2017		7	NW	7	260
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	14/02/2017	8,1	6	W	6	280
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	15/02/2017	5,3	6	W	6	260
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	16/02/2017	4,5	8	W	8	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	17/02/2017	1,3	4	NW	4	240
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	18/02/2017	0,2	4	W	4	250
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	19/02/2017		4	N	4	300

Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	20/02/2017	8,7	3	N	3	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	21/02/2017	4,9	4	N	4	230
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	22/02/2017	7,4	3	N	3	230
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	23/02/2017	0,5	3	N	3	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	24/02/2017	5,7	3	N	3	70
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	25/02/2017	1	5	NW	5	320
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	26/02/2017	0,4	2	N	2	240
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	27/02/2017	6,3	3	N	3	50
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	28/02/2017	5,9	4	N	4	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	01/03/2017	6,6	3	N	3	220
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	02/03/2017	6	4	N	4	290
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	03/03/2017	7,7	3	N	3	240
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	04/03/2017	5	3	N	3	270
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	05/03/2017	10,2	2	N	2	210
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	06/03/2017	5,3	4	NW	4	280
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	07/03/2017	1,3	7	NW	7	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	08/03/2017	3,9	6	NW	6	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	09/03/2017	3,6	5	W	5	250
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	10/03/2017	8,1	5	N	5	240
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	11/03/2017	8,4	6	N	6	250
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	12/03/2017	8,4	7	NW	7	210
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	13/03/2017	6,3	8	W	8	230
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	14/03/2017	0,5	5	W	5	280
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	15/03/2017	6,8	4	N	4	250
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	16/03/2017	7,3	4	N	4	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	17/03/2017	6,9	4	N	4	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	18/03/2017	8,6	3	N	3	290
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	19/03/2017	2,6	5	NW	5	260
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	21/03/2017	1,7	5	NW	5	280
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	22/03/2017	0,7	5	N	5	250
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	24/03/2017	6,5	4	N	4	240
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	27/03/2017	0	3	N	3	120
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	02/04/2017	2,5	5	N	5	240
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	03/04/2017	3,5	4	N	4	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	05/04/2017	1,1	5	NW	5	250
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	06/04/2017	5,9	5	NW	5	300
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	09/04/2017	3,5	6	N	6	200
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	10/04/2017	8,2	4	N	4	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	11/04/2017	8,7	4	E	4	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	12/04/2017	9,9	4	E	4	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	13/04/2017	9,5	4	N	4	140
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	14/04/2017	8,3	3	N	3	120
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	15/04/2017	1,4	3	N	3	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	16/04/2017	8,6	2	N	2	140
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	17/04/2017	6,8	3	N	3	260
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	18/04/2017	0,6	2	N	2	170
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	19/04/2017	7,5	3	N	3	120



Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	20/04/2017	8,7	5	N	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	21/04/2017	8,5	7	N	7	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	22/04/2017	8,5	4	N	4	260
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	23/04/2017	5,3	3	N	3	230
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	24/04/2017	3,8	4	N	4	240
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	25/04/2017	5,1	4	N	4	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	26/04/2017	9,7	3	N	3	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	27/04/2017	9,4	2	N	2	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	28/04/2017	8,4	2	N	2	190
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	29/04/2017	8,4	3	N	3	160
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	30/04/2017	8,7	4	N	4	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	01/05/2017	10,2	4	E	4	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	02/05/2017	9,1	3	N	3	150
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	03/05/2017	3,5	3	N	3	220
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	04/05/2017	1,5	4	E	4	140
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	05/05/2017	5,6	4	E	4	120
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	06/05/2017	0,3	5	E	5	140
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	07/05/2017	0	6	E	6	70
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	08/05/2017	0	6	E	6	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	09/05/2017	4,6	6	E	6	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	10/05/2017	9,6	6	E	6	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	11/05/2017	8,2	5	E	5	120
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	12/05/2017	6,1	5	E	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	13/05/2017	9,4	4	E	4	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	14/05/2017	8,8	4	E	4	90
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	15/05/2017	8,8	6	E	6	120
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	16/05/2017	9,5	5	E	5	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	17/05/2017	4,6	5	E	5	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	20/05/2017	9,1	3	SE	3	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	21/05/2017	10,7	4	E	4	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	22/05/2017	7,6	5	E	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	23/05/2017	9,1	5	E	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	24/05/2017	7,7	7	E	7	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	25/05/2017	10,3	4	E	4	90
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	26/05/2017	10,2	5	E	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	27/05/2017	5,5	6	E	6	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	28/05/2017	6,2	7	E	7	120
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	29/05/2017	1,2	5	N	5	90
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	30/05/2017	0	5	E	5	70
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	31/05/2017	5,6	4	E	4	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	01/06/2017	1,7	6	SE	6	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	02/06/2017	4	4	N	4	140
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	03/06/2017	1	4	E	4	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	04/06/2017	3,9	4	SE	4	140
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	05/06/2017	7,4	5	E	5	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	06/06/2017	8,7	5	E	5	80
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	07/06/2017	10,4	6	E	6	100

Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	08/06/2017	10,5	6	E	6	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	09/06/2017	9,7	5	E	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	10/06/2017	10,4	5	E	5	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	11/06/2017	9,8	8	E	8	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	12/06/2017	5,5	7	E	7	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	13/06/2017	1	5	E	5	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	14/06/2017	0,8	6	E	6	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	15/06/2017	7,3	5	E	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	16/06/2017	7,8	7	E	7	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	17/06/2017	9,1	6	E	6	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	18/06/2017	9,8	5	SE	5	140
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	19/06/2017	5,3	5	SE	5	90
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	20/06/2017	5,6	4	E	4	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	21/06/2017	5,7	5	E	5	90
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	22/06/2017	1,1	5	E	5	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	23/06/2017	1,8	6	E	6	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	24/06/2017	7,4	6	N	6	60
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	25/06/2017	0,2	5	E	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	26/06/2017	7,4	5	E	5	120
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	27/06/2017	10,3	4	E	4	150
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	28/06/2017	9,2	4	E	4	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	29/06/2017	3,3	6	E	6	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	30/06/2017	7,5	5	E	5	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	01/07/2017	8,9	5	E	5	140
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	02/07/2017	6,4	6	E	6	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	03/07/2017		6	E	6	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	04/07/2017	10,2	5	E	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	05/07/2017	10,3	6	SE	6	140
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	06/07/2017	3,5	5	E	5	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	07/07/2017	1,9	5	E	5	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	08/07/2017	2,1	5	SE	5	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	09/07/2017	7,8	3	E	3	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	10/07/2017	1,8	4	E	4	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	11/07/2017	2,8	5	E	5	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	12/07/2017	8,2	5	E	5	120
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	13/07/2017	2	5	E	5	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	14/07/2017	7,9	8	E	8	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	15/07/2017	2	8	E	8	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	16/07/2017	9,7	7	SE	7	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	17/07/2017	7,5	6	E	6	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	18/07/2017	7,3	6	E	6	60
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	19/07/2017	2,4	5	E	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	20/07/2017	5,9	5	E	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	21/07/2017	10,6	5	E	5	120
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	22/07/2017	8	8	E	8	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	23/07/2017	10,4	6	E	6	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	24/07/2017	9,8	5	SE	5	130

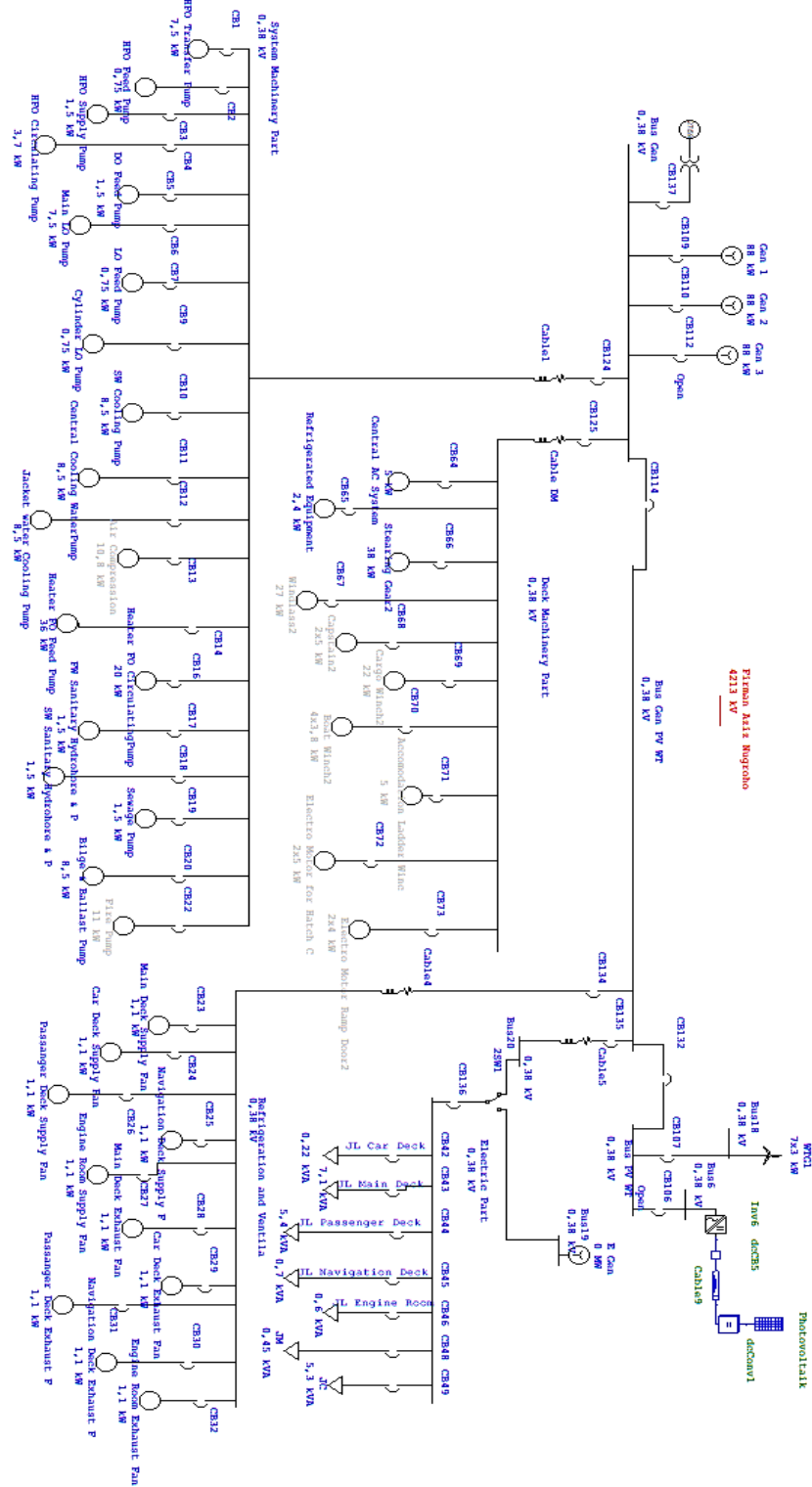
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	25/07/2017	8,5	4	E	4	140
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	26/07/2017	9,4	8	E	8	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	27/07/2017	9	5	SE	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	28/07/2017	0,1	5	E	5	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	29/07/2017	0,6	5	E	5	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	30/07/2017	7,8	6	E	6	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	31/07/2017	10,6	6	SE	6	120
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	01/08/2017	8,1	6	SE	6	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	02/08/2017	10,1	4	SE	4	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	03/08/2017	9,5	5	SE	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	04/08/2017	9,5	5	E	5	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	05/08/2017	9,7	5	E	5	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	06/08/2017	7,6	6	E	6	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	07/08/2017	5,9	6	E	6	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	08/08/2017	11	5	E	5	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	09/08/2017	7	5	E	5	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	10/08/2017	9,1	4	E	4	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	11/08/2017	10,5	4	E	4	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	12/08/2017	10,5	5	E	5	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	13/08/2017	7,4	5	E	5	140
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	14/08/2017	5,6	5	E	5	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	15/08/2017		5	E	5	120
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	16/08/2017	10,7	5	E	5	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	17/08/2017	8,6	4	E	4	80
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	18/08/2017	5	5	E	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	19/08/2017	2,4	5	SE	5	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	20/08/2017	7,2	6	E	6	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	21/08/2017		7	SE	7	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	22/08/2017	10,8	7	E	7	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	23/08/2017	10,9	5	E	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	24/08/2017	9,4	7	E	7	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	25/08/2017	9,4	7	E	7	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	26/08/2017	10,2	7	E	7	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	27/08/2017	9,4	7	E	7	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	28/08/2017	10,6	8	E	8	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	29/08/2017	10,2	6	E	6	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	30/08/2017	8,4	5	E	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	31/08/2017	10	6	E	6	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	01/09/2017	10,3	5	E	5	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	02/09/2017	10,7	7	E	7	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	03/09/2017	9	6	E	6	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	04/09/2017	8,7	6	E	6	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	05/09/2017	9,4	7	E	7	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	06/09/2017	9,2	7	E	7	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	07/09/2017	9,3	7	E	7	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	08/09/2017	10,2	7	E	7	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	09/09/2017	9,4	8	E	8	120

Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	10/09/2017	10,5	6	SE	6	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	11/09/2017	9,9	4	E	4	120
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	12/09/2017	9,5	4	S	4	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	13/09/2017	10,5	5	E	5	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	14/09/2017	9,4	6	E	6	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	15/09/2017	9,3	9	E	9	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	16/09/2017	9,9	8	E	8	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	17/09/2017	7,4	6	E	6	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	18/09/2017	10,6	4	E	4	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	19/09/2017	10,1	5	E	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	20/09/2017	10,3	5	E	5	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	21/09/2017	10,5	4	E	4	90
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	22/09/2017	10,5	4	SE	4	140
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	23/09/2017	6,5	5	E	5	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	24/09/2017	0,3	4	E	4	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	25/09/2017	0,6	5	E	5	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	26/09/2017	6,8	6	E	6	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	27/09/2017	5,3	5	N	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	28/09/2017	5,6	4	SE	4	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	29/09/2017	10,2	6	E	6	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	30/09/2017	10,3	5	E	5	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	01/10/2017	9,8	5	E	5	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	02/10/2017	9,8	4	E	4	140
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	03/10/2017	10	4	E	4	90
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	04/10/2017	8,9	5	E	5	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	05/10/2017	7,5	5	E	5	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	06/10/2017	9,7	5	E	5	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	07/10/2017	10,6	5	E	5	130
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	08/10/2017	10,5	4	E	4	120
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	09/10/2017	10,3	5	E	5	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	10/10/2017	10,7	4	E	4	100
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	11/10/2017	10,3	6	E	6	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	12/10/2017	9,6	6	E	6	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	13/10/2017	10,9	2	N	2	190
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	14/10/2017	7,3	4	N	4	230
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	15/10/2017	10,5	4	N	4	230
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	16/10/2017	0	3	N	3	320
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	17/10/2017	0	3	N	3	220
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	18/10/2017	1	3	N	3	110
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	19/10/2017	6	4	N	4	220
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	20/10/2017	9,7	3	N	3	230
Stasiun Meteorologi Sangkapura	96925	21/10/2017	10	3	N	3	110
Rata-rata			5,817	5,0171		5,0171	

## b. Spek Wind Turbine



# Lampiran 5 = Penggambaran *Single Line Diagram* di software transient



**Lampiran 6 = Data Grafik Simulasi dari *software transient***

**I. (1a) Panel Surya Beroperasi Sendiri**

<b>Waktu (detik)</b>	<b>Tegangan (%)</b>	<b>Tegangan (Volt)</b>
0	100	380
0,2	100	380
0,4	100	380
0,6	100	380
0,8	100	380
1	100	380
1,2	100	380
1,4	100	380
1,6	100	380
1,8	100	380
2	100	380
2,2	100	380
2,4	100	380
2,6	100	380
2,8	100	380
3	100	380
3,2	100	380
3,4	100	380
3,6	100	380
3,8	100	380
4	100	380
4,2	100	380
4,4	100	380
4,6	100	380
4,8	100	380
5	100	380
5,2	100	380
5,4	100	380
5,6	100	380
5,8	100	380
6	100	380
6,2	100	380
6,4	100	380
6,6	100	380
6,8	100	380
7	100	380
7,2	100	380
7,4	100	380
7,6	100	380
7,8	100	380

8	100	380
8,2	100	380
8,4	100	380
8,6	100	380
8,8	100	380
9	100	380
9,2	100	380
9,4	100	380
9,6	100	380
9,8	100	380
10	100	380
10,2	100	380
10,4	100	380
10,6	100	380
10,8	100	380
11	100	380
11,2	100	380
11,4	100	380
11,6	100	380
11,8	100	380
12	100	380
12,2	100	380
12,4	100	380
12,6	100	380
12,8	100	380
13	100	380
13,2	100	380
13,4	100	380
13,6	100	380
13,8	100	380
14	100	380
14,2	100	380
14,4	100	380
14,6	100	380
14,8	100	380
15	100	380
15,2	100	380
15,4	100	380
15,6	100	380
15,8	100	380
16	100	380
16,2	100	380

16,4	100	380
16,6	100	380
16,8	100	380
17	100	380
17,2	100	380
17,4	100	380
17,6	100	380
17,8	100	380
18	100	380
18,2	100	380
18,4	100	380
18,6	100	380
18,8	100	380
19	100	380
19,2	100	380
19,4	100	380
19,6	100	380
19,8	100	380
20	100	380
20,2	100	380
20,4	100	380
20,6	100	380
20,8	100	380
21	100	380
21,2	100	380
21,4	100	380
21,6	100	380
21,8	100	380
22	100	380
22,2	100	380
22,4	100	380
22,6	100	380
22,8	100	380
23	100	380
23,2	100	380
23,4	100	380
23,6	100	380
23,8	100	380
24	100	380
24,2	100	380
24,4	100	380
24,6	100	380
24,8	100	380
25	100	380

25,2	100	380
25,4	100	380
25,6	100	380
25,8	100	380
26	100	380
26,2	100	380
26,4	100	380
26,6	100	380
26,8	100	380
27	100	380
27,2	100	380
27,4	100	380
27,6	100	380
27,8	100	380
28	100	380
28,2	100	380
28,4	100	380
28,6	100	380
28,8	100	380
29	100	380
29,2	100	380
29,4	100	380
29,6	100	380
29,8	100	380
30	100	380
30,2	100	380
30,4	100	380
30,6	100	380
30,8	100	380
31	100	380
31,2	100	380
31,4	100	380
31,6	100	380
31,8	100	380
32	100	380
32,2	100	380
32,4	100	380
32,6	100	380
32,8	100	380
33	100	380
33,2	100	380
33,4	100	380
33,6	100	380
33,8	100	380



## II. (2a) Generator dan Panel Surya Beroperasi Bersama

Waktu (detik)	Tegangan (%)	Tegangan (Volt)
69,2	100,264	381,0032
69,4	99,7907	379,20466
69,6	99,6005	378,4819
69,8	100,042	380,1596
70	100,466	381,7708
70,2	100,166	380,6308
70,4	99,5503	378,29114
70,6	99,5936	378,45568
70,8	100,307	381,1666
71	100,595	382,261
71,2	99,9249	379,71462
71,4	99,2881	377,29478
71,6	99,7337	378,98806
71,8	100,665	382,527
72	100,597	382,2686
72,2	99,5192	378,17296
72,4	99,0841	376,51958
72,6	100,083	380,3154
72,8	101,052	383,9976
73	100,372	381,4136
73,2	98,9708	376,08904
73,4	99,056	376,4128
73,6	100,675	382,565
73,8	101,344	385,1072
74	99,8246	379,33348
74,2	98,3664	373,79232
74,4	99,3446	377,50948
74,6	101,475	385,605
74,8	101,355	385,149
75	98,9094	375,85572
75,2	97,8672	371,89536
75,4	100,078	380,2964
75,6	102,347	388,9186
75,8	100,872	383,3136
76	97,6669	371,13422
76,2	97,6925	371,2315
76,4	101,318	385,0084
76,6	103,044	391,5672
76,8	99,718	378,9284
77	96,2396	365,71048

77,2	98,0632	372,64016
77,4	102,996	391,3848
77,6	103,248	392,3424
77,8	97,8283	371,74754
78	94,8164	360,30232
78,2	99,0877	376,53326
78,4	104,905	398,639
78,6	102,722	390,3436
78,8	95,2835	362,0773
79	93,4407	355,07466
79,2	100,568	382,1584
79,4	106,821	405,9198
79,6	101,604	386,0952
79,8	92,2426	350,52188
80	91,5472	347,87936
80,2	101,559	385,9242
80,4	108,817	413,5046
80,6	101,03	383,914
80,8	89,0518	338,39684
81	87,0475	330,7805
81,2	98,2022	373,16836
81,4	110,348	419,3224
81,6	105,238	399,9044
81,8	89,4396	339,87048
82	78,7094	299,09572
82,2	80,2867	305,08946
82,4	89,9513	341,81494
82,6	102,985	391,343
82,8	109,011	414,2418
83	102,137	388,1206
83,2	88,9749	338,10462
83,4	79,8136	303,29168
83,6	143,952	547,0176
83,8	144,87	550,506
84	111,987	425,5506
84,2	89,9954	341,98252
84,4	120,032	456,1216
84,6	80,1143	304,43434
84,8	137,574	522,7812
85	75,844	288,2072
85,2	98,3653	373,78814
85,4	143,763	546,2994

85,6	77,9212	296,10056
85,8	129,343	491,5034
86	130,05	494,19
86,2	80,3031	305,15178
86,4	103,062	391,6356
86,6	89,3431	339,50378
86,8	133,903	508,8314
87	100,936	383,5568
87,2	74,6937	283,83606
87,4	74,4462	282,89556
87,6	79,7847	303,18186
87,8	106,788	405,7944
88	81,4833	309,63654
88,2	125,595	477,261
88,4	123,28	468,464
88,6	63,0959	239,76442
88,8	115,463	438,7594
89	70,6555	268,4909
89,2	114,852	436,4376
89,4	79,6896	302,82048
89,6	125,537	477,0406
89,8	133,432	507,0416
90	68,3213	259,62094
90,2	81,7943	310,81834
90,4	125,477	476,8126
90,6	68,7019	261,06722
90,8	103,675	393,965
91	134,683	511,7954
91,2	69,0914	262,54732
91,4	72,7758	276,54804
91,6	83,577	317,5926
91,8	98,7545	375,2671
92	96,3417	366,09846
92,2	105,773	401,9374
92,4	139,724	530,9512
92,6	81,9796	311,52248
92,8	73,6432	279,84416
93	90,4944	343,87872
93,2	69,8783	265,53754
93,4	124,685	473,803
93,6	74,5969	283,46822
93,8	110,578	420,1964
94	140,012	532,0456
94,2	69,2338	263,08844

94,4	123,653	469,8814
94,6	96,0752	365,08576
94,8	73,5132	279,35016
95	86,2504	327,75152
95,2	130,823	497,1274
95,4	90,1753	342,66614
95,6	120,672	458,5536
95,8	126,685	481,403
96	76,4995	290,6981
96,2	124,57	473,366
96,4	88,8711	337,71018
96,6	131,589	500,0382
96,8	122,947	467,1986
97	63,9455	242,9929
97,2	109,344	415,5072
97,4	63,5655	241,5489
97,6	85,4664	324,77232
97,8	94,199	357,9562
98	79,06	300,428
98,2	127,705	485,279
98,4	127,385	484,063
98,6	74,9274	284,72412
98,8	69,7986	265,23468
99	119,113	452,6294
99,2	66,3653	252,18814
99,4	105,959	402,6442
99,6	135,688	515,6144
99,8	69,5031	264,11178
100	65,9025	250,4295
100,2	65,028	247,1064
100,4	121,786	462,7868
100,6	81,6451	310,25138
100,8	133,239	506,3082
101	127,516	484,5608
101,2	89,4044	339,73672
101,4	64,1142	243,63396
101,6	93,5191	355,37258
101,8	76,0216	288,88208
102	126,055	479,009
102,2	130,154	494,5852
102,4	98,7197	375,13486
102,6	77,7131	295,30978
102,8	71,3945	271,2991
103	79,7478	303,04164

103,2	118,815	451,497
103,4	119,17	452,846
103,6	123,432	469,0416
103,8	120,003	456,0114
104	63,5174	241,36612
104,2	80,6933	306,63454
104,4	128,694	489,0372
104,6	71,5106	271,74028
104,8	77,8457	295,81366
105	131,595	500,061
105,2	118,393	449,8934
105,4	111,546	423,8748
105,6	104,16	395,808
105,8	82,9298	315,13324
106	76,973	292,4974
106,2	81,024	307,8912
106,4	137,149	521,1662
106,6	111,66	424,308
106,8	128,898	489,8124
107	106,535	404,833
107,2	127,304	483,7552
107,4	66,3677	252,19726
107,6	110,007	418,0266
107,8	126,811	481,8818
108	67,934	258,1492
108,2	64,6707	245,74866
108,4	61,7999	234,83962
108,6	123,595	469,661
108,8	84,3618	320,57484
109	132,318	502,8084
109,2	121,675	462,365
109,4	69,8986	265,61468
109,6	77,6758	295,16804
109,8	75,0516	285,19608
110	119,857	455,4566
110,2	80,2673	305,01574
110,4	120,875	459,325
110,6	133,285	506,483
110,8	64,943	246,7834
111	121,818	462,9084
111,2	61,9725	235,4955
111,4	112,108	426,0104
111,6	76,0399	288,95162

111,8	93,0642	353,64396
112	137,565	522,747
112,2	88,4572	336,13736
112,4	110,888	421,3744
112,6	70,539	268,0482
112,8	88,0152	334,45776
113	73,1605	278,0099
113,2	128,857	489,6566
113,4	136,525	518,795
113,6	105,175	399,665
113,8	100,945	383,591
114	67,2272	255,46336
114,2	125,19	475,722
114,4	89,6722	340,75436
114,6	133,907	508,8466
114,8	119,345	453,511
115	63,4142	240,97396
115,2	123,272	468,4336
115,4	60,8288	231,14944
115,6	87,4811	332,42818
115,8	92,9995	353,3981
116	75,7414	287,81732
116,2	123,931	470,9378
116,4	131,567	499,9546
116,6	70,534	268,0292
116,8	72,5975	275,8705
117	125,803	478,0514
117,2	66,9386	254,36668
117,4	100,748	382,8424
117,6	134,449	510,9062
117,8	70,9086	269,45268
118	68,5975	260,6705
118,2	67,2853	255,68414
118,4	120,116	456,4408
118,6	81,9914	311,56732
118,8	132,684	504,1992
119	132,472	503,3936
119,2	98,6767	374,97146
119,4	77,2774	293,65412
119,6	69,7304	264,97552
119,8	65,8558	250,25204
120	122,331	464,8578

### III. (3a) Panel Surya dan Turbin Angin Beroperasi Bersama

Waktu (detik)	Tegangan (%)	Tegangan (Volt)
16,8	98,3374	373,68212
17	98,2612	373,39256
17,2	98,1832	373,09616
17,4	98,1034	372,79292
17,6	98,0219	372,48322
17,8	97,9387	372,16706
18	97,8537	371,84406
18,2	97,7672	371,51536
18,4	97,679	371,1802
18,6	97,5891	370,83858
18,8	97,4978	370,49164
19	97,4048	370,13824
19,2	97,3104	369,77952
19,4	97,2146	369,41548
19,6	97,1173	369,04574
19,8	97,0187	368,67106
20	96,9187	368,29106
20,2	96,8175	367,9065
20,4	96,715	367,517
20,6	96,6114	367,12332
20,8	96,5067	366,72546
21	96,4009	366,32342
21,2	96,2941	365,91758
21,4	96,1863	365,50794
21,6	96,0777	365,09526
21,8	95,9683	364,67954
22	95,8582	364,26116
22,2	95,7473	363,83974
22,4	95,6359	363,41642
22,6	95,5239	362,99082
22,8	95,4114	362,56332
23	95,2986	362,13468
23,2	95,1854	361,70452
23,4	95,072	361,2736
23,6	94,9585	360,8423
23,8	94,8448	360,41024
24	94,7311	359,97818
24,2	94,6175	359,5465
24,4	94,5041	359,11558
24,6	94,3909	358,68542

24,8	94,278	358,2564
25	94,1656	357,82928
25,2	94,0536	357,40368
25,4	93,9422	356,98036
25,6	93,8315	356,5597
25,8	93,7215	356,1417
26	93,6123	355,72674
26,2	93,5041	355,31558
26,4	93,3969	354,90822
26,6	93,2908	354,50504
26,8	93,1858	354,10604
27	93,0822	353,71236
27,2	92,9798	353,32324
27,4	92,8789	352,93982
27,6	92,7796	352,56248
27,8	92,6818	352,19084
28	92,5858	351,82604
28,2	92,4915	351,4677
28,4	92,3991	351,11658
28,6	92,3086	350,77268
28,8	92,2202	350,43676
29	92,1338	350,10844
29,2	92,0496	349,78848
29,4	91,9677	349,47726
29,6	91,8881	349,17478
29,8	91,8109	348,88142
30	91,7362	348,59756
30,2	91,664	348,3232
30,4	91,5944	348,05872
30,6	91,5275	347,8045
30,8	91,4633	347,56054
31	91,4019	347,32722
31,2	91,3434	347,10492
31,4	91,2878	346,89364
31,6	91,2352	346,69376
31,8	91,1855	346,5049
32	91,139	346,3282
32,2	91,0956	346,16328
32,4	91,0553	346,01014
32,6	91,0182	345,86916
32,8	90,9844	345,74072
33	90,9538	345,62444

33,2	90,9265	345,5207
33,4	90,9026	345,42988
33,6	90,8821	345,35198
33,8	90,8649	345,28662
34	90,8511	345,23418
34,2	90,8408	345,19504
34,4	90,8338	345,16844
34,6	90,8303	345,15514
34,8	90,8303	345,15514
35	90,8337	345,16806
35,2	90,8406	345,19428
35,4	90,8509	345,23342
35,6	90,8647	345,28586
35,8	90,8819	345,35122
36	90,9025	345,4295
36,2	90,9266	345,52108
36,4	90,954	345,6252
36,6	90,9848	345,74224
36,8	91,0189	345,87182
37	91,0563	346,01394
37,2	91,097	346,1686
37,4	91,141	346,3358
37,6	91,1881	346,51478
37,8	91,2384	346,70592
38	91,2918	346,90884
38,2	91,3483	347,12354
38,4	91,4078	347,34964
38,6	91,4703	347,58714
38,8	91,5356	347,83528
39	91,6038	348,09444
39,2	91,6748	348,36424
39,4	91,7486	348,64468
39,6	91,8249	348,93462
39,8	91,9039	349,23482
40	91,9854	349,54452
40,2	92,0693	349,86334
40,4	92,1556	350,19128
40,6	92,2442	350,52796
40,8	92,3351	350,87338
41	92,428	351,2264
41,2	92,523	351,5874
41,4	92,62	351,956
41,6	92,7189	352,33182
41,8	92,8195	352,7141

42	92,9219	353,10322
42,2	93,0259	353,49842
42,4	93,1314	353,89932
42,6	93,2384	354,30592
42,8	93,3468	354,71784
43	93,4564	355,13432
43,2	93,5671	355,55498
43,4	93,679	355,9802
43,6	93,7918	356,40884
43,8	93,9055	356,8409
44	94,0201	357,27638
44,2	94,1353	357,71414
44,4	94,2511	358,15418
44,6	94,3675	358,5965
44,8	94,4843	359,04034
45	94,6014	359,48532
45,2	94,7188	359,93144
45,4	94,8363	360,37794
45,6	94,9539	360,82482
45,8	95,0715	361,2717
46	95,189	361,7182
46,2	95,3063	362,16394
46,4	95,4233	362,60854
46,6	95,5399	363,05162
46,8	95,6561	363,49318
47	95,7718	363,93284
47,2	95,8868	364,36984
47,4	96,0012	364,80456
47,6	96,1148	365,23624
47,8	96,2275	365,6645
48	96,3394	366,08972
48,2	96,4502	366,51076
48,4	96,5601	366,92838
48,6	96,6688	367,34144
48,8	96,7763	367,74994
49	96,8825	368,1535
49,2	96,9875	368,5525
49,4	97,0911	368,94618
49,6	97,1933	369,33454
49,8	97,294	369,7172
50	97,3932	370,09416
50,2	97,4908	370,46504
50,4	97,5867	370,82946
50,6	97,6811	371,18818

50,8	97,7737	371,54006
51	97,8645	371,8851
51,2	97,9536	372,22368
51,4	98,0409	372,55542
51,6	98,1263	372,87994
51,8	98,2098	373,19724
52	98,2914	373,50732
52,2	98,3711	373,81018
52,4	98,4488	374,10544
52,6	98,5246	374,39348
52,8	98,5984	374,67392
53	98,6702	374,94676
53,2	98,7399	375,21162
53,4	98,8077	375,46926
53,6	98,8734	375,71892
53,8	98,9371	375,96098
54	98,9988	376,19544
54,2	99,0584	376,42192
54,4	99,116	376,6408
54,6	99,1716	376,85208
54,8	99,2252	377,05576
55	99,2767	377,25146
55,2	99,3263	377,43994
55,4	99,3739	377,62082
55,6	99,4195	377,7941
55,8	99,4632	377,96016
56	99,505	378,119
56,2	99,5449	378,27062
56,4	99,5828	378,41464
56,6	99,619	378,5522
56,8	99,6533	378,68254
57	99,6859	378,80642
57,2	99,7166	378,92308
57,4	99,7457	379,03366
57,6	99,7731	379,13778
57,8	99,7988	379,23544
58	99,8229	379,32702
58,2	99,8454	379,41252
58,4	99,8664	379,49232
58,6	99,8858	379,56604
58,8	99,9039	379,63482
59	99,9205	379,6979
59,2	99,9357	379,75566
59,4	99,9496	379,80848

59,6	99,9623	379,85674
59,8	99,9737	379,90006
60	99,9839	379,93882
60,2	99,993	379,9734
60,4	100,001	380,0038
60,6	100,008	380,0304
60,8	100,014	380,0532
61	100,019	380,0722
61,2	100,023	380,0874
61,4	100,026	380,0988
61,6	100,029	380,1102
61,8	100,031	380,1178
62	100,032	380,1216
62,2	100,032	380,1216
62,4	100,032	380,1216
62,6	100,031	380,1178
62,8	100,03	380,114
63	100,028	380,1064
63,2	100,026	380,0988
63,4	100,023	380,0874
63,6	100,02	380,076
63,8	100,017	380,0646
64	100,014	380,0532
64,2	100,01	380,038
64,4	100,006	380,0228
64,6	100,002	380,0076
64,8	99,9983	379,99354
65	99,9942	379,97796
65,2	99,9901	379,96238
65,4	99,986	379,9468
65,6	99,982	379,9316
65,8	99,978	379,9164
66	99,9742	379,90196
66,2	99,9705	379,8879
66,4	99,9669	379,87422
66,6	99,9635	379,8613
66,8	99,9603	379,84914
67	99,9574	379,83812
67,2	99,9547	379,82786
67,4	99,9523	379,81874
67,6	99,9501	379,81038
67,8	99,9482	379,80316
68	99,9467	379,79746
68,2	99,9454	379,79252

#### IV. (4a) Generator dan Turbin Angin Beroperasi Bersama.

Waktu (detik)	Tegangan (%)	Tegangan (Volt)
0	100	380
0,2	99,9778	379,91564
0,4	100,017	380,0646
0,6	100,037	380,1406
0,8	100,055	380,209
1	100,072	380,2736
1,2	100,084	380,3192
1,4	100,092	380,3496
1,6	100,095	380,361
1,8	100,094	380,3572
2	100,091	380,3458
2,2	100,089	380,3382
2,4	100,086	380,3268
2,6	100,084	380,3192
2,8	100,081	380,3078
3	100,077	380,2926
3,2	100,074	380,2812
3,4	100,071	380,2698
3,6	100,069	380,2622
3,8	100,069	380,2622
4	100,07	380,266
4,2	100,072	380,2736
4,4	100,076	380,2888
4,6	100,079	380,3002
4,8	100,084	380,3192
5	100,089	380,3382
5,2	100,094	380,3572
5,4	100,1	380,38
5,6	100,107	380,4066
5,8	100,113	380,4294
6	100,12	380,456
6,2	100,126	380,4788
6,4	100,132	380,5016
6,6	100,137	380,5206
6,8	100,143	380,5434
7	100,148	380,5624
7,2	100,153	380,5814
7,4	100,158	380,6004
7,6	100,162	380,6156
7,8	100,166	380,6308

8	100,17	380,646
8,2	100,173	380,6574
8,4	100,177	380,6726
8,6	100,18	380,684
8,8	100,184	380,6992
9	100,187	380,7106
9,2	100,191	380,7258
9,4	100,194	380,7372
9,6	100,198	380,7524
9,8	100,202	380,7676
10	100,205	380,779
10,2	100,209	380,7942
10,4	100,213	380,8094
10,6	100,217	380,8246
10,8	100,221	380,8398
11	100,225	380,855
11,2	100,229	380,8702
11,4	100,234	380,8892
11,6	100,238	380,9044
11,8	100,242	380,9196
12	100,246	380,9348
12,2	100,25	380,95
12,4	100,254	380,9652
12,6	100,258	380,9804
12,8	100,262	380,9956
13	100,266	381,0108
13,2	100,27	381,026
13,4	100,273	381,0374
13,6	100,277	381,0526
13,8	100,28	381,064
14	100,284	381,0792
14,2	100,287	381,0906
14,4	100,291	381,1058
14,6	100,294	381,1172
14,8	100,297	381,1286
15	100,301	381,1438
15,2	100,304	381,1552
15,4	100,307	381,1666
15,6	100,31	381,178
15,8	100,313	381,1894
16	100,316	381,2008
16,2	100,319	381,2122

16,4	100,322	381,2236
16,6	100,325	381,235
16,8	100,327	381,2426
17	100,33	381,254
17,2	100,333	381,2654
17,4	100,335	381,273
17,6	100,338	381,2844
17,8	100,341	381,2958
18	100,343	381,3034
18,2	100,345	381,311
18,4	100,348	381,3224
18,6	100,35	381,33
18,8	100,352	381,3376
19	100,354	381,3452
19,2	100,356	381,3528
19,4	100,358	381,3604
19,6	100,36	381,368
19,8	100,362	381,3756
20	100,363	381,3794
20,2	100,365	381,387
20,4	100,366	381,3908
20,6	100,368	381,3984
20,8	100,369	381,4022
21	100,371	381,4098
21,2	100,372	381,4136
21,4	100,373	381,4174
21,6	100,374	381,4212
21,8	100,375	381,425
22	100,376	381,4288
22,2	100,377	381,4326
22,4	100,378	381,4364
22,6	100,378	381,4364
22,8	100,379	381,4402
23	100,38	381,444
23,2	100,38	381,444
23,4	100,38	381,444
23,6	100,381	381,4478
23,8	100,381	381,4478
24	100,381	381,4478
24,2	100,381	381,4478
24,4	100,381	381,4478
24,6	100,381	381,4478
24,8	100,381	381,4478

25	100,38	381,444
25,2	100,38	381,444
25,4	100,38	381,444
25,6	100,379	381,4402
25,8	100,379	381,4402
26	100,378	381,4364
26,2	100,377	381,4326
26,4	100,376	381,4288
26,6	100,376	381,4288
26,8	100,375	381,425
27	100,374	381,4212
27,2	100,372	381,4136
27,4	100,371	381,4098
27,6	100,37	381,406
27,8	100,369	381,4022
28	100,367	381,3946
28,2	100,366	381,3908
28,4	100,364	381,3832
28,6	100,363	381,3794
28,8	100,361	381,3718
29	100,359	381,3642
29,2	100,357	381,3566
29,4	100,356	381,3528
29,6	100,354	381,3452
29,8	100,352	381,3376
30	100,35	381,33
30,2	100,347	381,3186
30,4	100,345	381,311
30,6	100,343	381,3034
30,8	100,341	381,2958
31	100,338	381,2844
31,2	100,336	381,2768
31,4	100,333	381,2654
31,6	100,331	381,2578
31,8	100,328	381,2464
32	100,326	381,2388
32,2	100,323	381,2274
32,4	100,32	381,216
32,6	100,317	381,2046
32,8	100,314	381,1932
33	100,311	381,1818
33,2	100,308	381,1704
33,4	100,305	381,159



**V. (5a) Turbin Angin, Panel Suya, dan Diesel Generator Beroperasi Bersama.**

<b>Waktu</b>	<b>Tegangan (%)</b>	<b>Tegangan (Volt)</b>
0	100	380
0,2	99,8077	379,26926
0,4	99,8831	379,55578
0,6	100,116	380,4408
0,8	100,215	380,817
1	100,037	380,1406
1,2	99,8414	379,39732
1,4	99,9336	379,74768
1,6	100,205	380,779
1,8	100,262	380,9956
2	100,001	380,0038
2,2	99,7932	379,21416
2,4	99,9615	379,8537
2,6	100,286	381,0868
2,8	100,287	381,0906
3	99,9362	379,75756
3,2	99,7371	379,00098
3,4	100,008	380,0304
3,6	100,383	381,4554
3,8	100,301	381,1438
4	99,8499	379,42962
4,2	99,6845	378,8011
4,4	100,084	380,3192
4,6	100,498	381,8924
4,8	100,298	381,1324
5	99,7397	379,01086
5,2	99,6414	378,63732
5,4	100,198	380,7524
5,6	100,628	382,3864
5,8	100,269	381,0222
6	99,6024	378,48912
6,2	99,6146	378,53548
6,4	100,353	381,3414
6,6	100,769	382,9222
6,8	100,202	380,7676
7	99,4361	377,85718
7,2	99,6122	378,52636
7,4	100,557	382,1166
7,6	100,91	383,458
7,8	100,086	380,3268

8	99,2403	377,11314
8,2	99,6441	378,64758
8,4	100,812	383,0856
8,6	101,044	383,9672
8,8	99,9098	379,65724
9	99,0162	376,26156
9,2	99,7216	378,94208
9,4	101,123	384,2674
9,6	101,156	384,3928
9,8	99,6601	378,70838
10	98,7666	375,31308
10,2	99,8564	379,45432
10,4	101,49	385,662
10,6	101,232	384,6816
10,8	99,3262	377,43956
11	98,4948	374,28024
11,2	100,059	380,2242
11,4	101,915	387,277
11,6	101,26	384,788
11,8	98,8983	375,81354
12	98,2021	373,16798
12,2	100,336	381,2768
12,4	102,395	389,101
12,6	101,229	384,6702
12,8	98,3688	373,80144
13	97,8833	371,95654
13,2	100,685	382,603
13,4	102,932	391,1416
13,6	101,139	384,3282
13,8	97,7329	371,38502
14	97,518	370,5684
14,2	101,087	384,1306
14,4	103,53	393,414
14,6	101,014	383,8532
14,8	96,9907	368,56466
15	97,055	368,809
15,2	101,486	385,6468
15,4	104,207	395,9866
15,6	100,92	383,496
15,8	96,1549	365,38862
16	96,3899	366,28162
16,2	101,758	386,6804

16,4	104,997	398,9886
16,6	101,011	383,8418
16,8	95,2817	362,07046
17	95,3385	362,2863
17,2	101,618	386,1484
17,4	105,908	402,4504
17,6	101,603	386,0914
17,8	94,5763	359,38994
18	93,6578	355,89964
18,2	100,427	381,6226
18,4	106,702	405,4676
18,6	103,267	392,4146
18,8	94,7057	359,88166
19	91,3482	347,12316
19,2	96,9317	368,34046
19,4	105,931	402,5378
19,6	106,496	404,6848
19,8	97,5464	370,67632
20	90,0135	342,0513
20,2	90,3181	343,20878
20,4	98,3491	373,72658
20,6	106,958	406,4404
20,8	105,822	402,1236
21	96,5075	366,7285
21,2	88,4618	336,15484
21,4	84,5085	321,1323
21,6	81,2634	308,80092
21,8	80,6846	306,60148
22	101,734	386,5892
22,2	80,8115	307,0837
22,4	79,7623	303,09674
22,6	78,6518	298,87684
22,8	135,876	516,3288
23	79,9468	303,79784
23,2	118,913	451,8694
23,4	148,251	563,3538
23,6	76,8164	291,90232
23,8	108,963	414,0594
24	130,233	494,8854
24,2	70,7251	268,75538
24,4	86,0856	327,12528
24,6	114,868	436,4984

24,8	71,1521	270,37798
25	98,315	373,597
25,2	137,977	524,3126
25,4	78,6917	299,02846
25,6	120,423	457,6074
25,8	72,119	274,0522
26	106,722	405,5436
26,2	81,511	309,7418
26,4	129,852	493,4376
26,6	129,572	492,3736
26,8	74,2782	282,25716
27	74,5288	283,20944
27,2	104,838	398,3844
27,4	83,5454	317,47252
27,6	102,022	387,6836
27,8	136,012	516,8456
28	83,7979	318,43202
28,2	80,431	305,6378
28,4	80,7308	306,77704
28,6	63,2932	240,51416
28,8	72,7064	276,28432
29	109,198	414,9524
29,2	71,4672	271,57536
29,4	84,2803	320,26514
29,6	101,952	387,4176
29,8	73,9567	281,03546
30	104,764	398,1032
30,2	145,872	554,3136
30,4	84,2222	320,04436
30,6	131,869	501,1022
30,8	136,71	519,498
31	98,2909	373,50542
31,2	94,1296	357,69248
31,4	90,6081	344,31078
31,6	142,845	542,811
31,8	113,595	431,661
32	100,99	383,762
32,2	71,7331	272,58578
32,4	102,943	391,1834
32,6	77,7317	295,38046
32,8	128,768	489,3184
33	134,919	512,6922

**VI. (1b) Panel Surya Beroperasi. Panel Surya *Open* dan Generator *close* pada Detik ke 10.**

Waktu (detik)	Tegangan (%)	Tegangan (Volt)
8,58	100	380
8,6	100	380
8,62	100	380
8,64	100	380
8,66	100	380
8,68	100	380
8,7	100	380
8,72	100	380
8,74	100	380
8,76	100	380
8,78	100	380
8,8	100	380
8,82	100	380
8,84	100	380
8,86	100	380
8,88	100	380
8,9	100	380
8,92	100	380
8,94	100	380
8,96	100	380
8,98	100	380
9	100	380
9,02	100	380
9,04	100	380
9,06	100	380
9,08	100	380
9,1	100	380
9,12	100	380
9,14	100	380
9,16	100	380
9,18	100	380
9,2	100	380
9,22	100	380
9,24	100	380
9,26	100	380
9,28	100	380
9,3	100	380
9,32	100	380
9,34	100	380

9,36	100	380
9,38	100	380
9,4	100	380
9,42	100	380
9,44	100	380
9,46	100	380
9,48	100	380
9,5	100	380
9,52	100	380
9,54	100	380
9,56	100	380
9,58	100	380
9,6	100	380
9,62	100	380
9,64	100	380
9,66	100	380
9,68	100	380
9,7	100	380
9,72	100	380
9,74	100	380
9,76	100	380
9,78	100	380
9,8	100	380
9,82	100	380
9,84	100	380
9,86	100	380
9,88	100	380
9,9	100	380
9,92	100	380
9,94	100	380
9,96	100	380
9,98	100	380
10	100	380
10,001	98,9574	376,03812
10,021	98,8844	375,76072
10,041	98,9017	375,82646
10,061	98,8677	375,69726
10,081	98,8209	375,51942
10,101	98,7758	375,34804
10,121	98,7365	375,1987
10,141	98,7031	375,07178

10,161	98,6744	374,96272
10,181	98,6492	374,86696
10,201	98,6266	374,78108
10,221	98,6057	374,70166
10,241	98,586	374,6268
10,261	98,5671	374,55498
10,281	98,5485	374,4843
10,301	98,5302	374,41476
10,321	98,5118	374,34484
10,341	98,4932	374,27416
10,361	98,4745	374,2031
10,381	98,4556	374,13128
10,401	98,4366	374,05908
10,421	98,4173	373,98574
10,441	98,398	373,9124
10,461	98,3787	373,83906
10,481	98,3595	373,7661
10,501	98,3406	373,69428
10,521	98,322	373,6236
10,541	98,3038	373,55444
10,561	98,2863	373,48794
10,581	98,2694	373,42372
10,601	98,2532	373,36216
10,621	98,2377	373,30326
10,641	98,223	373,2474
10,661	98,2092	373,19496
10,681	98,1961	373,14518
10,701	98,1838	373,09844
10,721	98,1723	373,05474
10,741	98,1616	373,01408
10,761	98,1518	372,97684
10,781	98,1429	372,94302
10,801	98,1349	372,91262
10,821	98,1279	372,88602
10,841	98,1219	372,86322
10,861	98,117	372,8446
10,881	98,1132	372,83016
10,901	98,1106	372,82028
10,921	98,1092	372,81496
10,941	98,1089	372,81382
10,961	98,1099	372,81762
10,981	98,112	372,8256
11,001	98,1152	372,83776
11,021	98,1196	372,85448

11,041	98,1249	372,87462
11,061	98,1313	372,89894
11,081	98,1387	372,92706
11,101	98,1469	372,95822
11,121	98,1561	372,99318
11,141	98,166	373,0308
11,161	98,1768	373,07184
11,181	98,1882	373,11516
11,201	98,2005	373,1619
11,221	98,2134	373,21092
11,241	98,2269	373,26222
11,261	98,2411	373,31618
11,281	98,2558	373,37204
11,301	98,2711	373,43018
11,321	98,2869	373,49022
11,341	98,3031	373,55178
11,361	98,3197	373,61486
11,381	98,3366	373,67908
11,401	98,3538	373,74444
11,421	98,3713	373,81094
11,441	98,3889	373,87782
11,461	98,4068	373,94584
11,481	98,4247	374,01386
11,501	98,4427	374,08226
11,521	98,4608	374,15104
11,541	98,479	374,2202
11,561	98,4971	374,28898
11,581	98,5152	374,35776
11,601	98,5332	374,42616
11,621	98,5512	374,49456
11,641	98,5692	374,56296
11,661	98,587	374,6306
11,681	98,6048	374,69824
11,701	98,6224	374,76512
11,721	98,6399	374,83162
11,741	98,6573	374,89774
11,761	98,6746	374,96348
11,781	98,6917	375,02846
11,801	98,7086	375,09268
11,821	98,7254	375,15652
11,841	98,7421	375,21998
11,861	98,7587	375,28306
11,881	98,7751	375,34538
11,901	98,7914	375,40732

15,441	99,7147	378,91586
15,461	99,709	378,8942
15,481	99,7033	378,87254
15,501	99,6976	378,85088
15,521	99,6921	378,82998
15,541	99,6867	378,80946
15,561	99,6813	378,78894
15,581	99,676	378,7688
15,601	99,6709	378,74942
15,621	99,6658	378,73004
15,641	99,6608	378,71104
15,661	99,6559	378,69242
15,681	99,6511	378,67418
15,701	99,6464	378,65632
15,721	99,6418	378,63884
15,741	99,6373	378,62174
15,761	99,6329	378,60502
15,781	99,6285	378,5883
15,801	99,6243	378,57234
15,821	99,6201	378,55638
15,841	99,6161	378,54118
15,861	99,6121	378,52598
15,881	99,6082	378,51116
15,901	99,6044	378,49672
15,921	99,6006	378,48228
15,941	99,597	378,4686
15,961	99,5934	378,45492
15,981	99,5899	378,44162
16,001	99,5865	378,4287
16,021	99,5831	378,41578
16,041	99,5798	378,40324
16,061	99,5766	378,39108
16,081	99,5734	378,37892
16,101	99,5704	378,36752
16,121	99,5674	378,35612
16,141	99,5644	378,34472
16,161	99,5615	378,3337
16,181	99,5587	378,32306
16,201	99,556	378,3128
16,221	99,5533	378,30254
16,241	99,5507	378,29266
16,261	99,5481	378,28278
16,281	99,5456	378,27328
16,301	99,5432	378,26416

16,321	99,5408	378,25504
16,341	99,5385	378,2463
16,361	99,5363	378,23794
16,381	99,5341	378,22958
16,401	99,532	378,2216
16,421	99,53	378,214
16,441	99,528	378,2064
16,461	99,5261	378,19918
16,481	99,5243	378,19234
16,501	99,5226	378,18588
16,521	99,5209	378,17942
16,541	99,5193	378,17334
16,561	99,5178	378,16764
16,581	99,5163	378,16194
16,601	99,5149	378,15662
16,621	99,5136	378,15168
16,641	99,5124	378,14712
16,661	99,5113	378,14294
16,681	99,5102	378,13876
16,701	99,5092	378,13496
16,721	99,5083	378,13154
16,741	99,5075	378,1285
16,761	99,5068	378,12584
16,781	99,5061	378,12318
16,801	99,5056	378,12128
16,821	99,5051	378,11938
16,841	99,5047	378,11786
16,861	99,5044	378,11672
16,881	99,5042	378,11596
16,901	99,504	378,1152
16,921	99,504	378,1152
16,941	99,504	378,1152
16,961	99,5041	378,11558
16,981	99,5043	378,11634
17,001	99,5046	378,11748
17,021	99,505	378,119
17,041	99,5054	378,12052
17,061	99,5059	378,12242
17,081	99,5065	378,1247
17,101	99,5072	378,12736
17,121	99,5079	378,13002
17,141	99,5087	378,13306
17,161	99,5096	378,13648
17,181	99,5105	378,1399

17,201	99,5116	378,14408
17,221	99,5126	378,14788
17,241	99,5138	378,15244
17,261	99,515	378,157
17,281	99,5162	378,16156
17,301	99,5175	378,1665
17,321	99,5189	378,17182
17,341	99,5203	378,17714
17,361	99,5218	378,18284
17,381	99,5233	378,18854
17,401	99,5248	378,19424
17,421	99,5264	378,20032
17,441	99,528	378,2064
17,461	99,5297	378,21286
17,481	99,5314	378,21932
17,501	99,5331	378,22578
17,521	99,5348	378,23224
17,541	99,5366	378,23908
17,561	99,5384	378,24592
17,581	99,5402	378,25276
17,601	99,5421	378,25998
17,621	99,5439	378,26682
17,641	99,5458	378,27404
17,661	99,5477	378,28126
17,681	99,5496	378,28848
17,701	99,5515	378,2957
17,721	99,5534	378,30292
17,741	99,5554	378,31052
17,761	99,5573	378,31774
17,781	99,5592	378,32496
17,801	99,5612	378,33256
17,821	99,5631	378,33978
17,841	99,5651	378,34738
17,861	99,567	378,3546
17,881	99,5689	378,36182
17,901	99,5709	378,36942
17,921	99,5728	378,37664
17,941	99,5748	378,38424
17,961	99,5767	378,39146
17,981	99,5786	378,39868
18,001	99,5806	378,40628
18,021	99,5825	378,4135
18,041	99,5844	378,42072
18,061	99,5863	378,42794

18,081	99,5882	378,43516
18,101	99,5901	378,44238
18,121	99,592	378,4496
18,141	99,5938	378,45644
18,161	99,5957	378,46366
18,181	99,5976	378,47088
18,201	99,5994	378,47772
18,221	99,6013	378,48494
18,241	99,6031	378,49178
18,261	99,6049	378,49862
18,281	99,6068	378,50584
18,301	99,6086	378,51268
18,321	99,6104	378,51952
18,341	99,6122	378,52636
18,361	99,6139	378,53282
18,381	99,6157	378,53966
18,401	99,6175	378,5465
18,421	99,6192	378,55296
18,441	99,6209	378,55942
18,461	99,6227	378,56626
18,481	99,6244	378,57272
18,501	99,6261	378,57918
18,521	99,6277	378,58526
18,541	99,6294	378,59172
18,561	99,6311	378,59818
18,581	99,6327	378,60426
18,601	99,6343	378,61034
18,621	99,6359	378,61642
18,641	99,6375	378,6225
18,661	99,6391	378,62858
18,681	99,6406	378,63428
18,701	99,6422	378,64036
18,721	99,6437	378,64606
18,741	99,6452	378,65176
18,761	99,6466	378,65708
18,781	99,6481	378,66278
18,801	99,6495	378,6681
18,821	99,6509	378,67342
18,841	99,6523	378,67874
18,861	99,6536	378,68368
18,881	99,6549	378,68862
18,901	99,6562	378,69356
18,921	99,6575	378,6985
18,941	99,6588	378,70344

**VII. (2b) Generator Operasi. Generator *open* dan Panel Surya *close* pada detik ke 10.**

Waktu (detik)	Tegangan (%)	Tegangan (Volt)
8,26	100	380
8,28	100	380
8,3	100	380
8,32	100	380
8,34	100	380
8,36	100	380
8,38	100	380
8,4	100	380
8,42	100	380
8,44	100	380
8,46	100	380
8,48	100	380
8,5	100	380
8,52	100	380
8,54	100	380
8,56	100	380
8,58	100	380
8,6	100	380
8,62	100	380
8,64	100	380
8,66	100	380
8,68	100	380
8,7	100	380
8,72	100	380
8,74	100	380
8,76	100	380
8,78	100	380
8,8	100	380
8,82	100	380
8,84	100	380
8,86	100	380
8,88	100	380
8,9	100	380
8,92	100	380
8,94	100	380
8,96	100	380
8,98	100	380
9	100	380
9,02	100	380

9,04	100	380
9,06	100	380
9,08	100	380
9,1	100	380
9,12	100	380
9,14	100	380
9,16	100	380
9,18	100	380
9,2	100	380
9,22	100	380
9,24	100	380
9,26	100	380
9,28	100	380
9,3	100	380
9,32	100	380
9,34	100	380
9,36	100	380
9,38	100	380
9,4	100	380
9,42	100	380
9,44	100	380
9,46	100	380
9,48	100	380
9,5	100	380
9,52	100	380
9,54	100	380
9,56	100	380
9,58	100	380
9,6	100	380
9,62	100	380
9,64	100	380
9,66	100	380
9,68	100	380
9,7	100	380
9,72	100	380
9,74	100	380
9,76	100	380
9,78	100	380
9,8	100	380
9,82	100	380
9,84	100	380

9,86	100	380
9,88	100	380
9,9	100	380
9,92	100	380
9,94	100	380
9,96	100	380
9,98	100	380
10	100	380
10,001	82,8882	314,97516
10,021	79,4585	301,9423
10,041	79,4585	301,9423
10,061	79,4585	301,9423
10,081	79,4585	301,9423
10,101	79,4585	301,9423
10,121	79,4585	301,9423
10,141	79,4585	301,9423
10,161	79,4585	301,9423
10,181	79,4585	301,9423
10,201	79,4585	301,9423
10,221	79,4585	301,9423
10,241	79,4585	301,9423
10,261	79,4585	301,9423
10,281	79,4585	301,9423
10,301	79,4585	301,9423
10,321	79,4585	301,9423
10,341	79,4585	301,9423
10,361	79,4585	301,9423
10,381	79,4585	301,9423
10,401	79,4585	301,9423
10,421	79,4585	301,9423
10,441	79,4585	301,9423
10,461	79,4585	301,9423
10,481	79,4585	301,9423
10,501	79,4585	301,9423
10,521	79,4585	301,9423
10,541	79,4585	301,9423
10,561	79,4585	301,9423
10,581	79,4585	301,9423
10,601	79,4585	301,9423
10,621	79,4585	301,9423
10,641	79,4585	301,9423
10,661	79,4585	301,9423
10,681	79,4585	301,9423
10,701	79,4585	301,9423

10,721	79,4585	301,9423
10,741	79,4585	301,9423
10,761	79,4585	301,9423
10,781	79,4585	301,9423
10,801	79,4585	301,9423
10,821	79,4585	301,9423
10,841	79,4585	301,9423
10,861	79,4585	301,9423
10,881	79,4585	301,9423
10,901	79,4585	301,9423
10,921	79,4585	301,9423
10,941	79,4585	301,9423
10,961	79,4585	301,9423
10,981	79,4585	301,9423
11,001	79,4585	301,9423
11,021	79,4585	301,9423
11,041	79,4585	301,9423
11,061	79,4585	301,9423
11,081	79,4585	301,9423
11,101	79,4585	301,9423
11,121	79,4585	301,9423
11,141	79,4585	301,9423
11,161	79,4585	301,9423
11,181	79,4585	301,9423
11,201	79,4585	301,9423
11,221	79,4585	301,9423
11,241	79,4585	301,9423
11,261	79,4585	301,9423
11,281	79,4585	301,9423
11,301	79,4585	301,9423
11,321	79,4585	301,9423
11,341	79,4585	301,9423
11,361	79,4585	301,9423
11,381	79,4585	301,9423
11,401	79,4585	301,9423
11,421	79,4585	301,9423
11,441	79,4585	301,9423
11,461	79,4585	301,9423
11,481	79,4585	301,9423
11,501	79,4585	301,9423
11,521	79,4585	301,9423
11,541	79,4585	301,9423
11,561	79,4585	301,9423
11,581	79,4585	301,9423



**VIII. (3b) Panel Surya dan Turbin Angin Beroperasi kemudian keduanya *open*, Generator *close* pada detik ke 60.**

Waktu (detik)	Tegangan (%)	Tegangan (Volt)
51,2	97,9536	372,22368
51,4	98,0409	372,55542
51,6	98,1263	372,87994
51,8	98,2098	373,19724
52	98,2914	373,50732
52,2	98,3711	373,81018
52,4	98,4488	374,10544
52,6	98,5246	374,39348
52,8	98,5984	374,67392
53	98,6702	374,94676
53,2	98,7399	375,21162
53,4	98,8077	375,46926
53,6	98,8734	375,71892
53,8	98,9371	375,96098
54	98,9988	376,19544
54,2	99,0584	376,42192
54,4	99,116	376,6408
54,6	99,1716	376,85208
54,8	99,2252	377,05576
55	99,2767	377,25146
55,2	99,3263	377,43994
55,4	99,3739	377,62082
55,6	99,4195	377,7941
55,8	99,4632	377,96016
56	99,505	378,119
56,2	99,5449	378,27062
56,4	99,5828	378,41464
56,6	99,619	378,5522
56,8	99,6533	378,68254
57	99,6859	378,80642
57,2	99,7166	378,92308
57,4	99,7457	379,03366
57,6	99,7731	379,13778
57,8	99,7988	379,23544
58	99,8229	379,32702
58,2	99,8454	379,41252
58,4	99,8664	379,49232
58,6	99,8858	379,56604
58,8	99,9039	379,63482

59	99,9205	379,6979
59,2	99,9357	379,75566
59,4	99,9496	379,80848
59,6	99,9623	379,85674
59,8	99,9737	379,90006
60	99,9839	379,93882
60,01	98,9572	376,03736
60,21	98,7733	375,33854
60,41	98,5627	374,53826
60,61	98,2724	373,43512
60,81	98,0381	372,54478
61,01	97,9731	372,29778
61,21	98,0829	372,71502
61,41	98,2979	373,53202
61,61	98,5396	374,45048
61,81	98,746	375,2348
62,01	98,8944	375,79872
62,21	99,0117	376,24446
62,41	99,1469	376,75822
62,61	99,3245	377,4331
62,81	99,5306	378,21628
63,01	99,7294	378,97172
63,21	99,8862	379,56756
63,41	99,9818	379,93084
63,61	100,02	380,076
63,81	100,024	380,0912
64,01	100,017	380,0646
64,21	100,011	380,0418
64,41	100,003	380,0114
64,61	99,9821	379,93198
64,81	99,94	379,772
65,01	99,8768	379,53184
65,21	99,8016	379,24608
65,41	99,7276	378,96488
65,61	99,6656	378,72928
65,81	99,619	378,5522
66,01	99,5851	378,42338
66,21	99,5584	378,32192
66,41	99,5351	378,23338
66,61	99,5148	378,15624
66,81	99,5006	378,10228

67,01	99,4957	378,08366
67,21	99,5017	378,10646
67,41	99,5168	378,16384
67,61	99,5373	378,24174
67,81	99,5589	378,32382
68,01	99,5792	378,40096
68,21	99,5975	378,4705
68,41	99,6144	378,53472
68,61	99,6309	378,59742
68,81	99,647	378,6586
69,01	99,6615	378,7137
69,21	99,6732	378,75816
69,41	99,6809	378,78742
69,61	99,6843	378,80034
69,81	99,6843	378,80034
70,01	99,682	378,7916
70,21	99,6783	378,77754
70,41	99,6739	378,76082
70,61	99,6687	378,74106
70,81	99,6628	378,71864
71,01	99,6561	378,69318
71,21	99,6491	378,66658
71,41	99,6423	378,64074
71,61	99,6363	378,61794
71,81	99,6316	378,60008
72,01	99,6281	378,58678
72,21	99,6258	378,57804
72,41	99,6243	378,57234
72,61	99,6236	378,56968
72,81	99,6235	378,5693
73,01	99,6242	378,57196
73,21	99,6255	378,5769
73,41	99,6275	378,5845
73,61	99,6298	378,59324
73,81	99,6323	378,60274
74,01	99,6347	378,61186
74,21	99,6369	378,62022
74,41	99,6388	378,62744
74,61	99,6405	378,6339
74,81	99,642	378,6396
75,01	99,6431	378,64378
75,21	99,644	378,6472
75,41	99,6445	378,6491
75,61	99,6446	378,64948

75,81	99,6445	378,6491
76,01	99,6441	378,64758
76,21	99,6435	378,6453
76,41	99,6429	378,64302
76,61	99,6422	378,64036
76,81	99,6415	378,6377
77,01	99,6408	378,63504
77,21	99,6401	378,63238
77,41	99,6395	378,6301
77,61	99,639	378,6282
77,81	99,6386	378,62668
78,01	99,6383	378,62554
78,21	99,6382	378,62516
78,41	99,6381	378,62478
78,61	99,6382	378,62516
78,81	99,6383	378,62554
79,01	99,6385	378,6263
79,21	99,6387	378,62706
79,41	99,639	378,6282
79,61	99,6393	378,62934
79,81	99,6395	378,6301
80,01	99,6398	378,63124
80,21	99,6401	378,63238
80,41	99,6403	378,63314
80,61	99,6404	378,63352
80,81	99,6406	378,63428
81,01	99,6407	378,63466
81,21	99,6407	378,63466
81,41	99,6407	378,63466
81,61	99,6407	378,63466
81,81	99,6407	378,63466
82,01	99,6406	378,63428
82,21	99,6406	378,63428
82,41	99,6405	378,6339
82,61	99,6404	378,63352
82,81	99,6404	378,63352
83,01	99,6403	378,63314
83,21	99,6402	378,63276
83,41	99,6402	378,63276
83,61	99,6402	378,63276
83,81	99,6401	378,63238
84,01	99,6401	378,63238
84,21	99,6401	378,63238
84,41	99,6401	378,63238

**IX. (4b) Generator dan Turbin Angin Beroperasi. Generator *open*, Panel Surya *close* pada detik ke 10.**

Waktu (detik)	Tegangan (%)	Tegangan (Volt)
0	100	380
0,2	99,9778	379,91564
0,4	100,017	380,0646
0,6	100,037	380,1406
0,8	100,055	380,209
1	100,072	380,2736
1,2	100,084	380,3192
1,4	100,092	380,3496
1,6	100,095	380,361
1,8	100,094	380,3572
2	100,091	380,3458
2,2	100,089	380,3382
2,4	100,086	380,3268
2,6	100,084	380,3192
2,8	100,081	380,3078
3	100,077	380,2926
3,2	100,074	380,2812
3,4	100,071	380,2698
3,6	100,069	380,2622
3,8	100,069	380,2622
4	100,07	380,266
4,2	100,072	380,2736
4,4	100,076	380,2888
4,6	100,079	380,3002
4,8	100,084	380,3192
5	100,089	380,3382
5,2	100,094	380,3572
5,4	100,1	380,38
5,6	100,107	380,4066
5,8	100,113	380,4294
6	100,12	380,456
6,2	100,126	380,4788
6,4	100,132	380,5016
6,6	100,137	380,5206
6,8	100,143	380,5434
7	100,148	380,5624
7,2	100,153	380,5814
7,4	100,158	380,6004
7,6	100,162	380,6156

7,8	100,166	380,6308
8	100,17	380,646
8,2	100,173	380,6574
8,4	100,177	380,6726
8,6	100,18	380,684
8,8	100,184	380,6992
9	100,187	380,7106
9,2	100,191	380,7258
9,4	100,194	380,7372
9,6	100,198	380,7524
9,8	100,202	380,7676
10	100,205	380,779
10,01	94,1958	357,94404
10,21	94,9428	360,78264
10,41	94,9199	360,69562
10,61	94,8964	360,60632
10,81	94,8723	360,51474
11,01	94,8477	360,42126
11,21	94,8225	360,3255
11,41	94,7967	360,22746
11,61	94,7703	360,12714
11,81	94,7433	360,02454
12,01	94,7157	359,91966
12,21	94,6875	359,8125
12,41	94,6587	359,70306
12,61	94,6293	359,59134
12,81	94,5993	359,47734
13,01	94,5687	359,36106
13,21	94,5376	359,24288
13,41	94,5058	359,12204
13,61	94,4734	358,99892
13,81	94,4405	358,8739
14,01	94,4069	358,74622
14,21	94,3728	358,61664
14,41	94,3381	358,48478
14,61	94,3029	358,35102
14,81	94,267	358,2146
15,01	94,2307	358,07666
15,21	94,1937	357,93606
15,41	94,1562	357,79356
15,61	94,1182	357,64916

15,81	94,0796	357,50248
16,01	94,0405	357,3539
16,21	94,0009	357,20342
16,41	93,9608	357,05104
16,61	93,9202	356,89676
16,81	93,8791	356,74058
17,01	93,8375	356,5825
17,21	93,7955	356,4229
17,41	93,753	356,2614
17,61	93,7101	356,09838
17,81	93,6668	355,93384
18,01	93,6231	355,76778
18,21	93,579	355,6002
18,41	93,5345	355,4311
18,61	93,4896	355,26048
18,81	93,4444	355,08872
19,01	93,3988	354,91544
19,21	93,353	354,7414
19,41	93,3069	354,56622
19,61	93,2605	354,3899
19,81	93,2138	354,21244
20,01	93,1669	354,03422
20,21	93,1198	353,85524
20,41	93,0725	353,6755
20,61	93,025	353,495
20,81	92,9774	353,31412
21,01	92,9296	353,13248
21,21	92,8818	352,95084
21,41	92,8338	352,76844
21,61	92,7858	352,58604
21,81	92,7378	352,40364
22,01	92,6897	352,22086
22,21	92,6416	352,03808
22,41	92,5936	351,85568
22,61	92,5456	351,67328
22,81	92,4978	351,49164
23,01	92,45	351,31
23,21	92,4024	351,12912
23,41	92,3549	350,94862
23,61	92,3076	350,76888
23,81	92,2605	350,5899
24,01	92,2137	350,41206
24,21	92,1671	350,23498
24,41	92,1208	350,05904

24,61	92,0749	349,88462
24,81	92,0292	349,71096
25,01	91,984	349,5392
25,21	91,9391	349,36858
25,41	91,8947	349,19986
25,61	91,8507	349,03266
25,81	91,8072	348,86736
26,01	91,7642	348,70396
26,21	91,7218	348,54284
26,41	91,6799	348,38362
26,61	91,6386	348,22668
26,81	91,5979	348,07202
27,01	91,5578	347,91964
27,21	91,5184	347,76992
27,41	91,4797	347,62286
27,61	91,4417	347,47846
27,81	91,4044	347,33672
28,01	91,3679	347,19802
28,21	91,3321	347,06198
28,41	91,2972	346,92936
28,61	91,2632	346,80016
28,81	91,2299	346,67362
29,01	91,1976	346,55088
29,21	91,1661	346,43118
29,41	91,1356	346,31528
29,61	91,106	346,2028
29,81	91,0774	346,09412
30,01	91,0498	345,98924
30,21	91,0232	345,88816
30,41	90,9976	345,79088
30,61	90,973	345,6974
30,81	90,9495	345,6081
31,01	90,927	345,5226
31,21	90,9057	345,44166
31,41	90,8855	345,3649
31,61	90,8664	345,29232
31,81	90,8484	345,22392
32,01	90,8316	345,16008
32,21	90,8159	345,10042
32,41	90,8014	345,04532
32,61	90,7881	344,99478
32,81	90,776	344,9488
33,01	90,7651	344,90738
33,21	90,7554	344,87052

**X. (5b) Generator dan Panel Surya Beroperasi. Generator *open*, Turbin Angin *close*, pada detik ke 10.**

Waktu (detik)	Tegangan (%)	Tegangan (Volt)
0	100	380
0,2	100	380
0,4	100	380
0,6	100	380
0,8	100	380
1	100	380
1,2	100	380
1,4	100	380
1,6	100	380
1,8	100	380
2	100	380
2,2	100	380
2,4	100	380
2,6	100	380
2,8	100	380
3	100	380
3,2	100	380
3,4	100	380
3,6	100	380
3,8	100	380
4	100	380
4,2	100	380
4,4	100	380
4,6	100	380
4,8	100	380
5	100	380
5,2	100	380
5,4	100	380
5,6	100	380
5,8	100	380
6	100	380
6,2	100	380
6,4	100	380
6,6	100	380
6,8	100	380
7	100	380
7,2	100	380
7,4	100	380
7,6	100	380

7,8	100	380
8	100	380
8,2	100	380
8,4	100	380
8,6	100	380
8,8	100	380
9	100	380
9,2	100	380
9,4	100	380
9,6	100	380
9,8	100	380
10	100	380
10,01	106,683	405,3954
10,21	107,778	409,5564
10,41	107,778	409,5564
10,61	107,778	409,5564
10,81	107,778	409,5564
11,01	107,778	409,5564
11,21	107,778	409,5564
11,41	107,778	409,5564
11,61	107,778	409,5564
11,81	107,778	409,5564
12,01	107,778	409,5564
12,21	107,778	409,5564
12,41	107,778	409,5564
12,61	107,778	409,5564
12,81	107,778	409,5564
13,01	107,778	409,5564
13,21	107,778	409,5564
13,41	107,778	409,5564
13,61	107,778	409,5564
13,81	107,778	409,5564
14,01	107,778	409,5564
14,21	107,778	409,5564
14,41	107,778	409,5564
14,61	107,778	409,5564
14,81	107,778	409,5564
15,01	107,778	409,5564
15,21	107,778	409,5564
15,41	107,778	409,5564
15,61	107,778	409,5564

**XI. (6b) Generator Operasi. Generator *open*, Turbin Angin dan Panel Surya *close* pada detik ke 10.**

Waktu (detik)	Tegangan (%)	Tegangan (Volt)			
0	100	380	8	100	380
0,2	100	380	8,2	100	380
0,4	100	380	8,4	100	380
0,6	100	380	8,6	100	380
0,8	100	380	8,8	100	380
1	100	380	9	100	380
1,2	100	380	9,2	100	380
1,4	100	380	9,4	100	380
1,6	100	380	9,6	100	380
1,8	100	380	9,8	100	380
2	100	380	10	100	380
2,2	100	380	10,01	83,4972	317,28936
2,4	100	380	10,21	82,6758	314,16804
2,6	100	380	10,41	82,6409	314,03542
2,8	100	380	10,61	82,6036	313,89368
3	100	380	10,81	82,5638	313,74244
3,2	100	380	11,01	82,5216	313,58208
3,4	100	380	11,21	82,4768	313,41184
3,6	100	380	11,41	82,4294	313,23172
3,8	100	380	11,61	82,3793	313,04134
4	100	380	11,81	82,3264	312,84032
4,2	100	380	12,01	82,2708	312,62904
4,4	100	380	12,21	82,2124	312,40712
4,6	100	380	12,41	82,1511	312,17418
4,8	100	380	12,61	82,0868	311,92984
5	100	380	12,81	82,0196	311,67448
5,2	100	380	13,01	81,9494	311,40772
5,4	100	380	13,21	81,8761	311,12918
5,6	100	380	13,41	81,7996	310,83848
5,8	100	380	13,61	81,7201	310,53638
6	100	380	13,81	81,6373	310,22174
6,2	100	380	14,01	81,5514	309,89532
6,4	100	380	14,21	81,4622	309,55636
6,6	100	380	14,41	81,3697	309,20486
6,8	100	380	14,61	81,2739	308,84082
7	100	380	14,81	81,1748	308,46424
7,2	100	380	15,01	81,0723	308,07474
7,4	100	380	15,21	80,9664	307,67232
7,6	100	380	15,41	80,8571	307,25698
7,8	100	380	15,61	80,7444	306,82872
			15,81	80,6282	306,38716
			16,01	80,5086	305,93268

16,21	80,3855	305,4649
16,41	80,2589	304,98382
16,61	80,1289	304,48982
16,81	79,9954	303,98252
17,01	79,8584	303,46192
17,21	79,7179	302,92802
17,41	79,5739	302,38082
17,61	79,4264	301,82032
17,81	79,2755	301,2469
18,01	79,1211	300,66018
18,21	78,9633	300,06054
18,41	78,802	299,4476
18,61	78,6373	298,82174
18,81	78,4693	298,18334
19,01	80,6027	306,29026
19,21	80,4319	305,64122
19,41	80,2606	304,99028
19,61	80,086	304,3268
19,81	79,9083	303,65154
20,01	79,7274	302,96412
20,21	79,5434	302,26492
20,41	79,3563	301,55394
20,61	79,1661	300,83118
20,81	78,973	300,0974
21,01	78,7768	299,35184
21,21	78,5777	298,59526
21,41	78,3757	297,82766
21,61	78,1708	297,04904
21,81	77,9631	296,25978
22,01	77,7526	295,45988
22,21	77,5394	294,64972
22,41	77,3235	293,8293
22,61	77,105	292,999
22,81	76,884	292,1592
23,01	76,6605	291,3099
23,21	76,4345	290,4511
23,41	76,2061	289,58318
23,61	75,9755	288,7069
23,81	75,7426	287,82188
24,01	75,5075	286,9285
24,21	75,2703	286,02714
24,41	75,0311	285,11818
24,61	74,7899	284,20162
24,81	74,5469	283,27822

25,01	74,3021	282,34798
25,21	74,0555	281,4109
25,41	73,8073	280,46774
25,61	73,5576	279,51888
25,81	73,3064	278,56432
26,01	73,0539	277,60482
26,21	72,8	276,64
26,41	72,545	275,671
26,61	72,2889	274,69782
26,81	72,0318	273,72084
27,01	71,7739	272,74082
27,21	71,5151	271,75738
27,41	71,2557	270,77166
27,61	70,9956	269,78328
27,81	70,7352	268,79376
28,01	70,4743	267,80234
28,21	70,2132	266,81016
28,41	46,6708	177,34904
28,61	44,8101	170,27838
28,81	44,2258	168,05804
29,01	43,6229	165,76702
29,21	42,9999	163,39962
29,41	42,3551	160,94938
29,61	41,6865	158,4087
29,81	40,9918	155,76884
30,01	40,2683	153,01954
30,21	39,5129	150,14902
30,41	38,7218	147,14284
30,61	37,8904	143,98352
30,81	37,0131	140,64978
31,01	36,083	137,1154
31,21	35,091	133,3458
31,41	34,0255	129,2969
31,61	32,8708	124,90904
31,81	31,6047	120,09786
32,01	30,1942	114,73796
32,21	28,5869	108,63022
32,41	26,6885	101,4163
32,61	24,2977	92,33126
32,81	20,7848	78,98224
33,01	4,44246	16,881348
33,21	88,8922	337,79036
33,41	24,4737	93,00006
33,61	104,446	396,8948

33,81	9,92099	37,699762
34,01	20,9047	79,43786
34,21	31,8657	121,08966
34,41	34,1744	129,86272
34,61	32,2062	122,38356
34,81	24,4574	92,93812
35,01	12,6564	48,09432
35,21	137,256	521,5728
35,41	85,9753	326,70614
35,61	42,4826	161,43388
35,81	16,6131	63,12978
36,01	139,968	531,8784
36,21	61,5312	233,81856
36,41	9,72327	36,948426
36,61	95,2835	362,0773
36,81	15,3718	58,41284
37,01	91,7279	348,56602
37,21	11,3249	43,03462
37,41	85,2512	323,95456
37,61	8,85713	33,657094
37,81	84,1246	319,67348
38,01	8,98735	34,15193
38,21	84,6927	321,83226
38,41	10,8858	41,36604
38,61	61,6355	234,2149
38,81	145,544	553,0672
39,01	25,0355	95,1349
39,21	93,9403	356,97314
39,41	69,8511	265,43418
39,61	38,8177	147,50726
39,81	105,443	400,6834
40,01	26,8718	102,11284
40,21	39,9042	151,63596
40,41	101,469	385,5822
40,61	106,739	405,6082
40,81	32,2406	122,51428
41,01	79,0131	300,24978
41,21	144,287	548,2906
41,41	13,8893	52,77934
41,61	56,6349	215,21262
41,81	107,182	407,2916
42,01	112,282	426,6716
42,21	24,079	91,5002
42,41	69,9227	265,70626

42,61	138,026	524,4988
42,81	16,6541	63,28558
43,01	38,8365	147,5787
43,21	90,6521	344,47798
43,41	143,857	546,6566
43,61	17,8012	67,64456
43,81	63,6324	241,80312
44,01	133,009	505,4342
44,21	14,0483	53,38354
44,41	43,3129	164,58902
44,61	105,873	402,3174
44,81	27,291	103,7058
45,01	40,9214	155,50132
45,21	108,294	411,5172
45,41	12,7875	48,5925
45,61	55,4547	210,72786
45,81	140,45	533,71
46,01	22,4708	85,38904
46,21	85,0369	323,14022
46,41	41,104	156,1952
46,61	60,402	229,5276
46,81	120,168	456,6384
47,01	56,0626	213,03788
47,21	112,4	427,12
47,41	63,3558	240,75204
47,61	45,0378	171,14364
47,81	64,0245	243,2931
48,01	23,6121	89,72598
48,21	67,818	257,7084
48,41	9,45049	35,911862
48,61	94,0154	357,25852
48,81	29,2086	110,99268
49,01	102,884	390,9592
49,21	83,0917	315,74846
49,41	39,9766	151,91108
49,61	16,9171	64,28498
49,81	29,0495	110,3881
50,01	128,275	487,445
50,21	75,0615	285,2337
50,41	62,5512	237,69456
50,61	59,6285	226,5883
50,81	65,4133	248,57054
51,01	72,2932	274,71416
51,21	116,403	442,3314



## BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Firman Aziz Nugroho. Lahir pada tanggal 24 Maret 1995 di Jakarta. Anak pertama dan anak laki-laki satu-satunya dari 4 bersaudara dari pasangan Fiansul Syahnizam dan Warareni. Penulis menempuh jenjang pendidikan formal di SD Negeri Sukadamai 3 Bogor, SMP Negeri 1 Bogor, SMA Negeri 1 Bogor. Setelah lulus SMA pada tahun 2013 penulis melanjutkan jenjang pendidikan Program S1 (Strata 1) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Pada semester 7 penulis memutuskan untuk memasuki bidang laboratorium MEAS (Marine Electrical & Automatical Sistem). Pada laboratorium tersebut penulis bertugas menjadi Asisten Praktikum mata kuliah Listrik Perkapalan dan menyelesaikan tugas akhir di laboratorium tersebut.

Pada bidang non akademik penulis mendapatkan amanah sebagai ketua Unit Kegiatan Mahasiswa Flag Football ITS masa bakti 2015-2016. Tahun 2014-2015 penulis bersama teman-teman komunitas Flag Football ITS memperjuangkan status Flag Football ITS dari komunitas menjadi UKM legal yang berada di ITS. Dan saat ini penulis masih aktif mengikuti kejuaraan olahraga Flag Football di Indonesia hingga saat ini. Lalu penulis juga aktif dalam kepengurusan di Himasiskal sebagai staff PSDM masa bakti 2014-2015 dan kadiv pemetaan PSDM masa bakti 2015-2016. Penulis juga mencari pengalaman di dunia kepemanduan ITS dengan mengikuti PP LKMM FTK 2014. Selain itu penulis juga mendapatkan amanah sebagai kadiv kaderisasi *Human Capital Development* (HCD) di Lembaga Minat Bakat ITS masa bakti 2016-2017. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: firman.aziz@outlook.com .

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*